

## **7 IMPLEMENTACIÓN Y CALIBRACION MODELO ASIGNACIÓN**

### **7.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presentan los procedimientos aplicados y resultados obtenidos en la fase de implementación y calibración del modelo de asignación vehicular de la red estratégica interurbana de la Macrozona Centro-Sur. Como producto de esta fase se obtiene un modelo de asignación vehicular en plataforma computacional EMME/2, que logra representar la movilidad de los viajes en formato de matrices origen-destino, y los volúmenes de flujo vehiculares que operan en la actualidad en la red, a nivel de arco y tipo de vehículo, mediante una red de modelación.

Inicialmente se indica el procedimiento empleado para codificar y caracterizar la red, para lo cual se utiliza la información de los catastros realizados en los estudios de base, lo que se complementa con información recopilada a partir de otros estudios relacionados. Dicha información se organiza en bases de datos SIG y en planillas Excel, y dentro del modelo EMME/2 según corresponda.

Posteriormente se describe los procedimientos propuestos para obtener matrices origen-destino y para definir el modelo la asignación vehicular, lo que involucra la aplicación de criterios tales como el denominado *Máxima Verosimilitud* para la consolidación de matrices origen-destino a partir de encuestas. Además en esta etapa se definen los parámetros requerido para la aplicación de un criterio de asignación vehicular del tipo multiusuario estocástico, para cada tipo de vehículo.

Con los procedimientos definidos, se realiza la implementación y calibración del modelo de asignación propuesto. Se consigna que la calibración se realiza para lograr modelar la Temporada Normal, y considerando dos períodos de modelación, que representan las diferencias que se observan durante la semana en cuanto a los niveles de flujo y estructura de viaje: período *Día Laboral* y período *Día Fin de Semana*

Finalmente se presentan los resultados de la modelación, en donde se valida la operación del modelo, contrastándola con respecto a los valores observados en terreno.

### **7.2 FUNCIONES FLUJO-VELOCIDAD**

Uno de los antecedentes relevantes para la modelación de redes lo constituye la determinación de las funciones de flujo velocidad (o flujo tiempo) las cuales pretenden representar la velocidad que desarrollan los vehículos en cierta vía, en función de las características físico-geométricas, de la intensidad del flujo y de la función de la vía (urbana, interurbana). En el presente estudio para determinar las funciones de flujo velocidad (F-V) se utiliza los datos existentes calibrados en el estudio de referencia "Concesión Ruta de la Fruta (CITRA 2005)". A continuación se presenta la metodología empleada en dicho estudio para determinar la forma funcional de las funciones, y los parámetros obtenidos.

## 7.2.1 Calzada Simple

Conceptualmente, una función F-V posee dos componentes: la primera corresponde a la estimación de la velocidad a flujo libre; y la segunda, a una relación en que se determina cuánto es el efecto en la velocidad cuando circula una unidad más de flujo por el camino (arco) analizado.

Para determinar la velocidad a flujo libre es posible aplicar el modelo COPER (en su versión actualizada en 1998), el cual a partir de los datos de geometría del camino determina la velocidad a flujo libre para cada tipo de vehículo.

Respecto de la componente dependiente del flujo, resulta aconsejable utilizar una formulación lineal, debido a que las formulaciones tradicionales tales como la BPR generan una curva cóncava sobrestimando la velocidad en el sector de flujos medios.

La formulación propuesta es la siguiente:

$$V_i = VFL_i + (V_c - VFL_i) * (q + q_c) / CAP$$

Donde

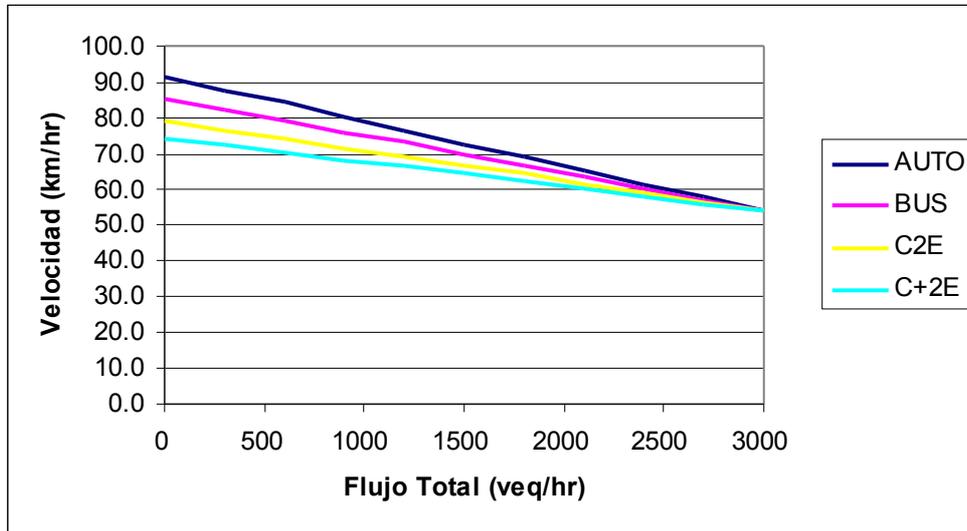
- $V_i$  : velocidad de operación del vehículo tipo i
- $VFL_i$  : velocidad a flujo libre del vehículo tipo i
- $V_c$  : velocidad a capacidad en el arco analizado
- $q$  : flujo total en veq/hr en el sentido del arco analizado
- $q_c$  : flujo total en veq/hr en el sentido contrario del arco analizado
- cap : capacidad del arco en veq/hr (corresponde a la capacidad total en ambos sentidos, la cual es dependiente de la partición de flujos, la geometría, las restricciones de adelantamiento, etc.)

En el caso de  $V_c$ , la velocidad a capacidad de un camino siempre está relacionada con la velocidad del vehículo más lento, que en definitiva es el que se ve menos afectado por el flujo. Por ello, un supuesto razonable es considerar que la velocidad a capacidad corresponde a un porcentaje de la velocidad a flujo libre del vehículo más lento que, en general, será el camión de más de 2 ejes.

A partir de los datos del estudio de Costos Viales de Estrasur (Análisis y Desarrollo Evaluación Sistema de Transporte Interurbano, IX Etapa, Sectra, 1999), en el cual se simuló con el modelo TRARR 12 tipologías de camino según geometría (más de 3.000 simulaciones), para niveles de flujo entre 0 y la capacidad del camino, se obtuvo que en promedio la velocidad a capacidad (mayor nivel de flujo modelado) es un 72,6% menor que la velocidad a flujo libre del vehículo más lento (camión de más de 2 ejes). Dado lo anterior, se propone considerar dicho factor para determinar  $V_c$ .

De esta manera, para cada arco de la red es posible calcular la velocidad a flujo libre de cada vehículo y la velocidad a capacidad, con lo cual la función queda completamente definida.

**Figura N° -1**  
**Ejemplo Curvas Flujo-Velocidad Adoptadas**



La Figura N° -1 muestra la velocidad de cada tipo de vehículo según el flujo total para un tramo tipo. Sin embargo, ésta sólo es representativa de arcos sin fricción lateral.

A partir de las mediciones realizadas en terreno y las estimaciones del modelo de velocidad a flujo libre, se estimaron los coeficientes para la fricción lateral asociados a cada tipo de vehículo, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla N° -1**  
**Coeficientes de Fricción Lateral**

Parámetro	Auto	Bus	C2e	C+2e
INTER	-24.6	-15.2	-9.5	-4.2

Fuente: Estudio de Demanda y Evaluación Social Ruta 66, Citra 2005

De esta manera la velocidad de flujo libre de un arco específico se determina según la siguiente expresión:

$$VFL_i = V_{0i}(COPER) + INTER \cdot NFL$$

NFL: Nivel de fricción lateral (valor entre 0: sin fricción y 1: alta fricción)

## 7.2.2 Doble Calzada

Para el caso de caminos en doble calzada, se propone considerar una función tipo BPR, utilizando los parámetros estimados en el estudio para la concesión de la Ruta 60-CH, pero calculando la velocidad a flujo libre directamente con COPER (en estos casos no debiera considerarse nunca fricción lateral). Sin embargo, se da el caso que actualmente los caminos en doble calzada presentan velocidades máximas permitidas de 120 km/hr. Esto no es bien capturado por COPER por cuanto no hace distinción en la velocidad de flujo libre según si se trata de calzada simple o doble. Para corregir esta situación, se consideró la utilización de un factor de corrección (Fc) de la velocidad determinada con COPER equivalente a 1,2.

Luego la expresión queda:

$$V_i = V_{oi} * (COPER) - 45,22 * (q_{cd} / Q_{cd})^4$$

Donde:

$V_i$	:	Velocidad del vehículo tipo i
$V_{oi}$	:	Velocidad en flujo libre del vehículo tipo i obtenida con COPER
Fc	:	Factor de corrección de velocidad a flujo libre en doble calzada (1,2)
$q_{CD}$	:	Flujo vehicular en calzada doble
$Q_{CD}$	:	Capacidad del arco de calzada doble

Por último, para el caso de los arcos netamente urbanos, se propone considerar una velocidad de operación fija y equivalente a 20 km/hr (para todos los tipos de vehículo).

### 7.2.3 Validación

Como parte de los estudios de base, se realizaron mediciones de velocidad en cuatro tramos representativos de distintas condiciones de caminos pavimentados. Los resultados de dichas mediciones han sido presentados en el Capítulo N° 6 de este informe.

En la Tabla N° -2 se ofrece una comparación de las velocidades promedio medidas en los estudios de base, y las velocidades modeladas mediante la formulación anteriormente descrita, para el caso de vehículos livianos. Se observa la semejanza de los resultados obtenidos, en particular para los caminos llanos con ancho de pista mayor (incluye berma). Estos corresponden a caminos en los cuales los vehículos pueden desarrollar velocidades promedio mayores y por lo tanto la velocidad medida se asemeja a la velocidad de diseño. Es interesante el efecto sobre la velocidad de poseer un ancho mayor de operación (pista + berma).

**Tabla N° -2**  
**Comparación Velocidades Medidas Modeladas**

Velocidad (km/h)	Tramo 1-2	Tramo 3-4	Tramo 5-6	Tramo 7-8
	Recto, Ancho Mayor	Recto, Ancho Menor	Curva Suave	Cuesta
Modelada	95.0	74.7	90.1	57.3
Medida	90.4	73.5	99.7	69.0

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de empeorar las condiciones geométricas, las velocidades medidas tienden a ser superiores a las modeladas. Para lo observado en la cuesta esto se puede justificar debido a que el tramo medido corresponde a una cuesta que no posee una geometría muy desfavorable con respecto a otras cuestas existentes en la vialidad chilena.

### 7.3 IMPLEMENTACIÓN RED DE MODELACIÓN

Para implementar y aplicar el modelo de red, se ha decidido utilizar una estructura de programas computacionales denominados *Plataformas de Modelación*, los que interactúan entre sí para generar los datos requeridos para incorporar al modelo de transporte. El objetivo de esta estructura es lograr ordenar la información con la cual se está trabajando ya que se reconoce que esta es de diversa naturaleza, abarcando datos geográficos, socioeconómicos, modelos de redes y modelos auxiliares. Una característica de la estructura definida es que las plataformas son compatibles entre sí, pudiéndose generar de esta manera protocolos de transferencia de información entre cada una de ellas.

A continuación se describe cada plataforma, como se alimenta, los resultados que produce, y como esta estructura conduce a la implementación del modelo de red.

#### 7.1.1 Definición Plataformas de Modelación

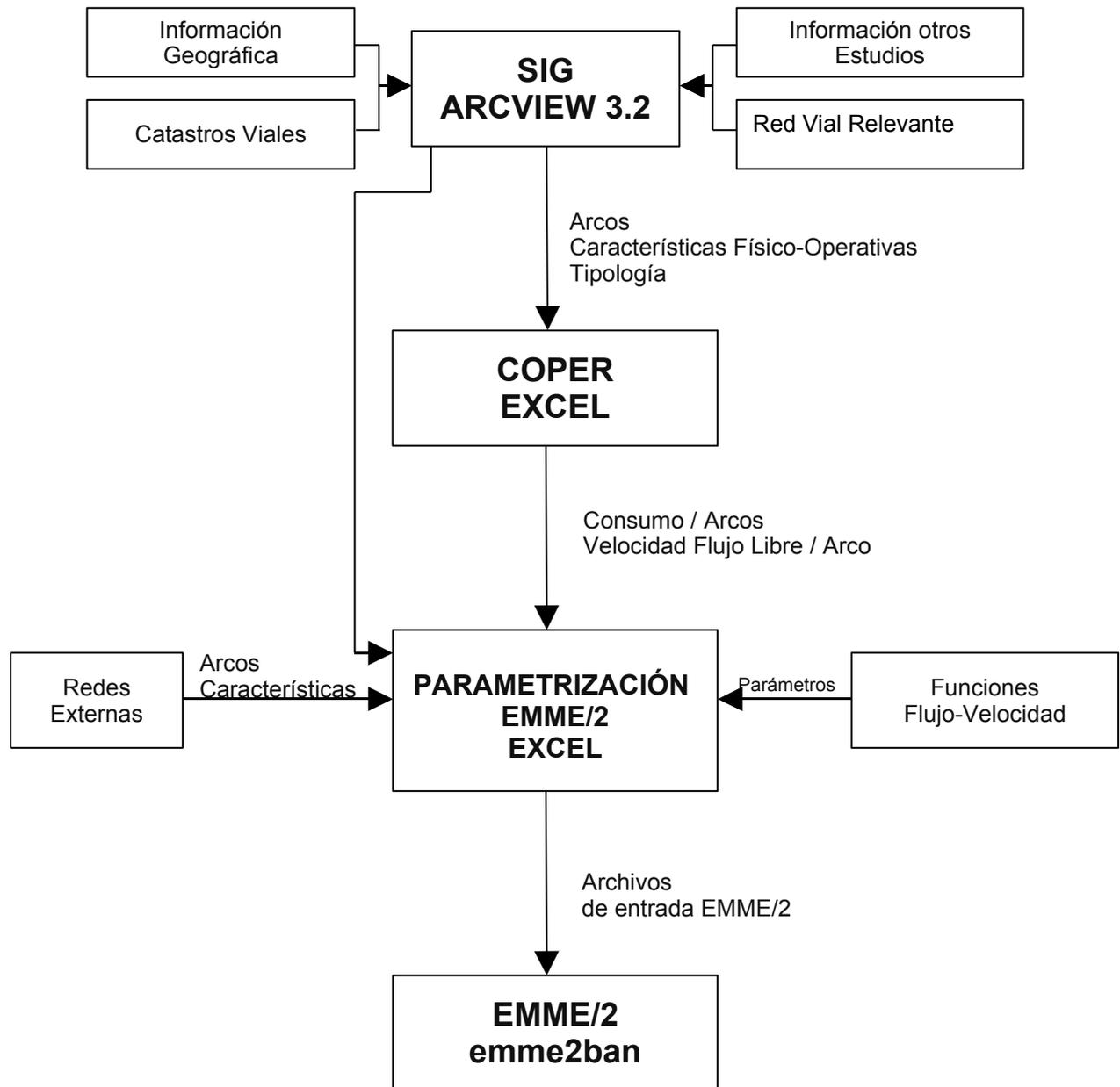
Para lograr el objetivo de implementar una red de modelación estratégica para la Macrozona Centro Sur, la información de base y de modelación se ha estructurado mediante la generación de las siguientes bases de datos, cada una asociada a un software de modelación.

- Sistema de Información Geográfica (SIG): Construido en formato ARCVIEW, concentra gran parte de la información de base de la red vial, desagregada a nivel de arcos. Incorpora datos de catastro tales como identificación de la ruta, longitud, características físico-operativas de los arcos y otros códigos de modelación, tales como la tipología y el código de función flujo-velocidad de cada arco. Cabe señalar que la codificación de la red de modelación se ha efectuado en el SIG.
- COPER: Planilla en formato Excel que permite calcular para cada arco de la red los costos operacionales y las velocidades por tipo de vehículo, en base a las formulaciones contenidas en el modelo HDM-III, adaptadas a la realidad chilena.

- **PARAMETRIZACIÓN EMME/2:** La información de red generada por el SIG y por COPER debe ser codificada de manera de poder ser ingresada en el formato requerido por EMME/2. De esta manera se ha generado una planilla Excel denominada PARAMETRIZACIÓN EMME/2, que permite enlazar los datos del SIG y de COPER con el modelo de transporte EMME/2. El procedimiento de parametrización permite además incorporar a EMME/2 algunos archivos adicionales, tales como las funciones flujo-velocidad.
- **EMME/2:** Software de modelación de transporte empleado en el presente estudio. Permite realizar el proceso de asignación de la red, para obtener flujos vehiculares y costos de viaje. Para funcionar requiere formar una base de datos de transporte denominada EMME2BAN, la cual en el presente caso es proporcionada por el resto de las plataformas computacionales definidas en la estructura.

En la Figura N° -2 se indica cada plataforma computacional utilizada, los datos de ingreso y egreso, y la interacción con el resto de la estructura.

**Figura N° -2**  
**Estructura Conformación Red de Modelación**



### 7.1.2 Modelación SIG

Como parte de la tarea de implementación y modelación de la red vial correspondiente al área de estudio, se ha desarrollado una base de datos en un formato del tipo SIG (Sistema de Información Geográfica), el cual contiene información tanto topológica como la caracterización asociada a la red vial de la Macrozona Centro Sur, y su relación con el entorno geográfico. La base de datos se ha implementado utilizando el software ARCVIEW y permite incorporar la red analizada en formato de arcos y nodos, compatible con los programas de modelación EMME/2 y COPER. Los objetivos que se persiguen con la implementación de este SIG son los siguientes:

- Organizar la información asociada a la red vial analizada, la que proviene de los catastros físicos y geométricos utilizados.
- Relacionar la red con el entorno geográfico (límites políticos, administrativos, naturales, ubicación de cascos urbanos, entre otros).
- Codificar la red de modelación en formato de arcos y nodos, asociándole a cada arco generado las características provenientes de los catastros, y los códigos para la diferenciación de arcos por tipología.
- Alimentar en forma automática a los modelo de transporte EMME/2 y COPER, otorgándoles los parámetros requeridos para la modelación.
- Poseer una red de modelación georeferenciada que sea compatible con las bases de datos que utiliza el MOP.
- Otorgar una visualización interactiva de la red y sus características, y permitir la presentación gráfica de los resultados del estudio.

#### a. Datos Geográficos

Para implementar el archivo base del SIG se utilizó la información proporcionada por el Ministerio de Obras Públicas, la cual contiene las bases de datos del Sistema de Información de Geográfica y Cartográfica, perteneciente a la Dirección de Vialidad. Específicamente se facilitaron los siguientes archivos:

- *06\_Caminos y 07\_caminos*, ambos con las siguientes extensiones, *dbf, prj, sbn, sbx, shp, shx*: Cobertura Red Vial de las regiones VI y VII respectivamente, que contiene las siguientes campos:
  - ROL
  - CODIGO
  - ID
  - CIUDAD
  - NOMBRE
  - ESCALA
  - CARPETA
- *06\_ciudades y 07\_ciudades*, ambos con las siguientes extensiones, *dbf, prj, sbn, sbx, shp, shx*: Cobertura de polígonos con cascos urbanos de ciudades del área de influencia directa, VI y VII Región, respectivamente. Los campos que contienen estas coberturas se enuncian a continuación:

- NOMBRE
  - AREA
  - CATEGORIA
  - ESCALA
- *comunas\_chile*, con las siguientes extensiones, *dbf, sbn, sbx, shp, shx*: Cobertura de polígonos de comunas de Chile, incluye los siguientes campos:
    - PROVINCIA
    - COMUNA
    - REGION
  - *icc06 e icc07*, con las siguientes extensiones, *dbf, shp, shx*: Cobertura de puntos con ubicación de instrumentos de conteo continuo en las regiones VI y VII respectivamente, incluyen solo un campo con su identificación.
  - *PNC6 y PNC7*, con las siguientes extensiones, *dbf, prg, shp, shx*: Cobertura de puntos con ubicación de puntos de conteo del Plan Nacional de Censos en las regiones VI y VII respectivamente, incluyen solo un campo con su identificación.
  - *06\_c\_agua y 07\_06\_c\_agua*, ambos con las siguientes extensiones, *dbf, sbn, sbx, shp, shx*: Cobertura de polígonos con sistema hidrográfico de la VI y VII Región, respectivamente. Los campos que contienen estas coberturas se enuncian a continuación:
    - NOMBRE
    - TIPO

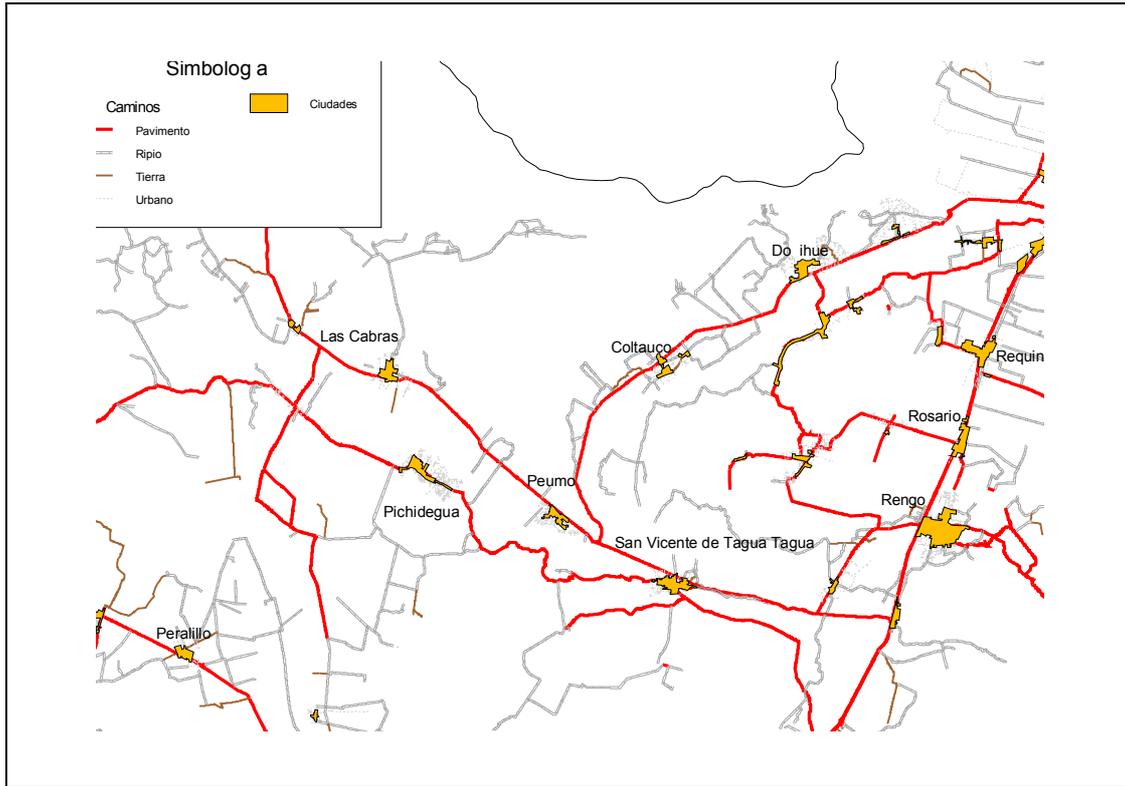
A su vez se crearon nuevas coberturas, algunas sobre la base de las coberturas anteriores, estas se describen a continuación:

- *arcos*, con las siguientes extensiones, *dbf, prg, shp, shx*: Cobertura de líneas con los arcos de la red de modelación del área de influencia directa. Los campos que contiene esta cobertura se encuentran descritos en el archivo *Diccionario.xls*, en el anexo digital de *SIG\_RED\_MODELACIÓN* :
- *nodos*, con las siguientes extensiones, *dbf, prg, shp, shx*: Cobertura de puntos con los nodos de la red de modelación del área de influencia directa. Al igual que el punto anterior los campos se encuentran descritos en el archivo *Diccionario.xls*, en el anexo digital de *SIG\_RED\_MODELACIÓN* :
- *PEOD y PCFL*, cada uno con las siguientes extensiones, *dbf, shp, shx*: Cobertura de puntos con los puntos de encuesta origen-destino y de conteos vehiculares, respectivamente, desarrollados por el consultor. incluyen solo un campo con su identificación.

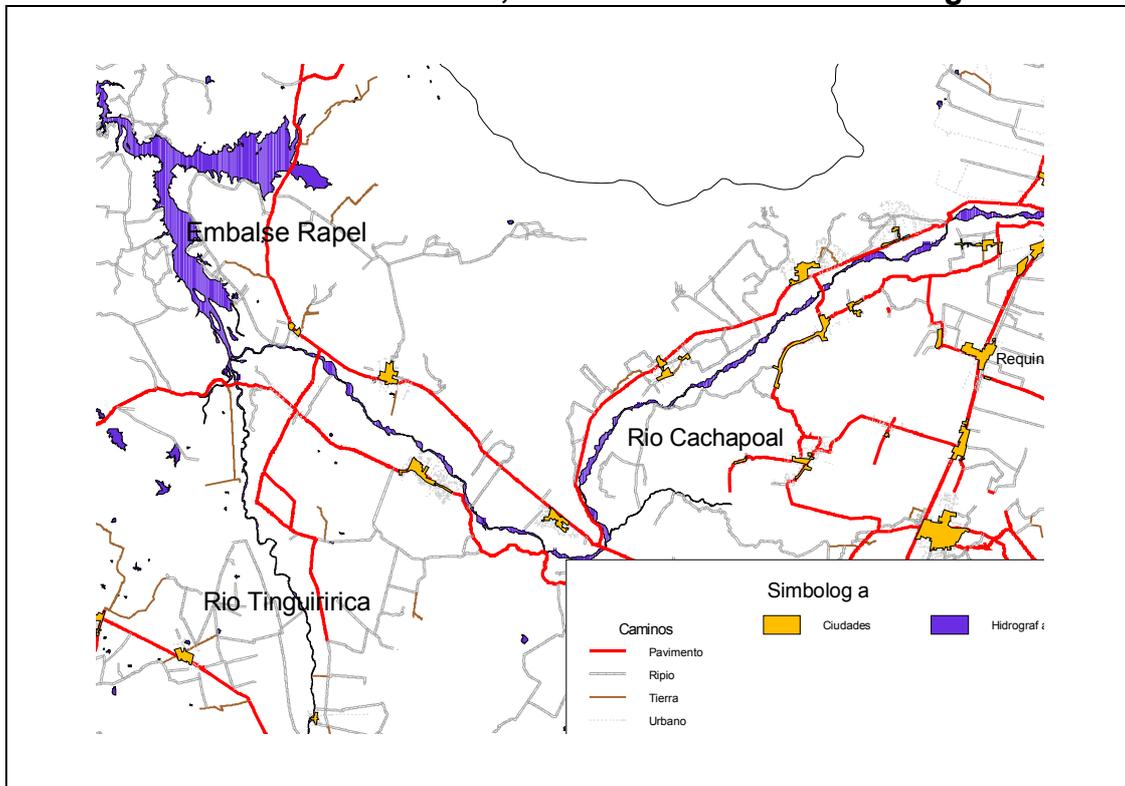
- *06\_comunas* y *07\_comunas*, con las siguientes extensiones, *dbf*, *prj*, *shp*, *shx*: Cobertura de polígonos de comunas de la VI y VII región respectivamente, incluye los siguientes campos:
  - CAPTION (Nombre)
  - POBLACION
  - DENSIDAD
  - ZONA
  
- *06\_region* y *07\_region*, con las siguientes extensiones, *dbf*, *shp*, *shx*. Cobertura de polígonos de comunas de la VI y VII región respectivamente, incluyen solo un campo con su identificación.

Como se aprecia, la información anterior permitió incorporar a la plataforma SIG una serie de antecedentes de base que son útiles en la georeferenciación de la red y en la identificación de las vías a modelar. Los antecedentes anteriores permiten obtener imágenes de la red como se ejemplifica desde la Figura N° -3 a la Figura N° -6.

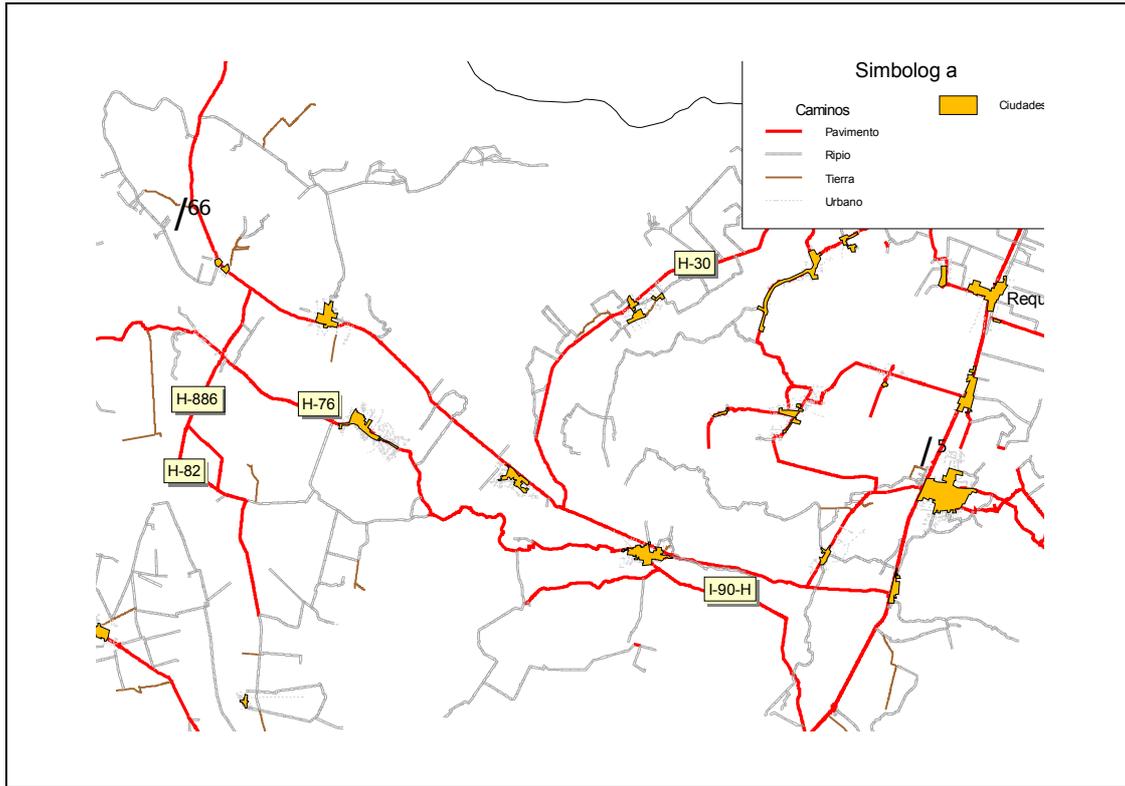
### **Figura N° -3** **SIG Sector Ruta de la Fruta, Cobertura de Cascos Urbanos**



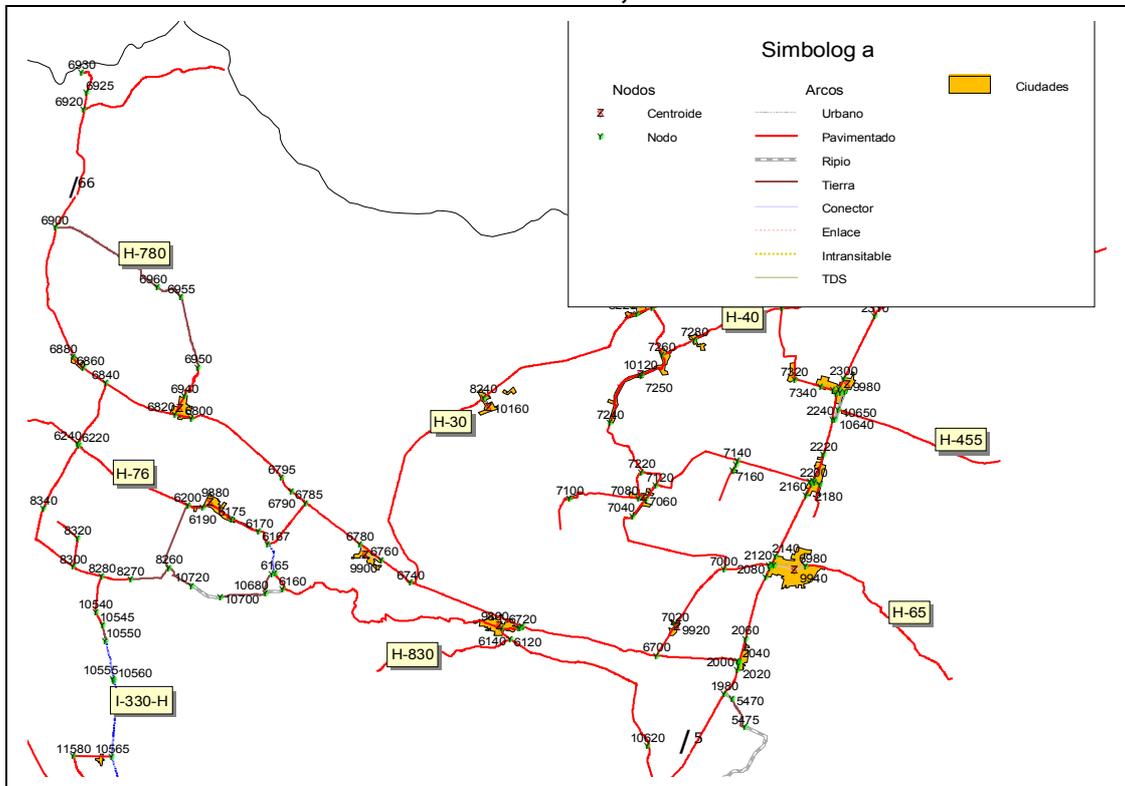
**Figura N° -4**  
**SIG Sector Ruta de la Fruta, Cobertura de Sistema Hidrográfico**



**Figura N° -5**  
**SIG Sector Ruta de la Fruta, Cobertura Red Vial**



**Figura N° -6**  
**SIG Sector Ruta de la Fruta, Red de Modelación**



**b. Codificación Red Topológica**

La red de modelación fue codificada con un criterio buffer, vale decir utilizando un conjunto de nodos y arcos que representan la red vial relevante a estudiar. Para definir tanto los nodos como los arcos que conforman la red, se utilizó una serie de criterios los cuales se enumeran a continuación:

Se definen nodos en los siguientes casos:

- Inicio-Fin de Ruta
- Cruce con otro camino perteneciente a la red
- Punto que representa acceso a zona generadora de viajes
- Dentro de una Ruta cambio de estándar de la carpeta de rodado.
- Dentro de una Ruta, cambio de estándar geométrico.
- Límite urbano-interurbano
- Límite regional –provincial.

Posteriormente los tramos que resultan entre dos nodos consecutivos constituyen los arcos de la red. En la Figura N° -7 se presenta la red de modelación con los arcos y nodos definidos. Se excluye en esta figura la red externa, la cual se define posteriormente.

---

**Figura N° -7**  
**Red de Modelación Área de Influencia Directa**

**c. Caracterización**

Una vez definida la red de modelación, se procedió a asignarle a cada arco que la conforma los parámetros relevantes para su descripción y posterior modelación en la red. La información utilizada para caracterizar los arcos fue obtenida a partir de los siguientes antecedentes.

- **Inventario Vial, Red Pavimentada de Caminos.**

Este antecedente fue proporcionado por la Dirección de Vialidad del MOP y cubre a las regiones VI y VII. La descripción de los archivos recopilados se presenta en el capítulo de revisión de antecedentes,

- **Catastro Vial Estudios de Base.**

Como se detalló en el capítulo de estudios de base, se realizó un catastro vial sobre un conjunto de rutas de la red que posteriormente pueden formar parte de los Planes de Proyecto. De esta manera, utilizando un instrumento GPS se recopiló información que ha permitido definir con gran precisión las características físico operativas de las vías levantadas. En este sentido, se registró la siguiente información, para cada tramo de vía.

- Coordenadas X, Y,Z
- Longitud
- Curvatura
- Pendiente
- Estándar Carpeta (visual)
- Número de pistas
- Puntos relevantes (puentes, intersecciones)
- Grado de ruralidad (urbano, suburbano, interurbano).

- **Catastro Vial Estudio Concesión de la Ruta de la Fruta**

Como parte del estudio de Concesión de la Ruta de la Fruta (Citra 2005), se definió una red de modelación estratégica que abarcó gran parte de la VI Región y de las regiones V y Metropolitana. Los datos de dicha red fueron levantados mediante la realización de un catastro, en el cual se registraron los siguientes antecedentes para cada uno de los arcos de la red.

- Tipo de calzada: existen dos posibilidades, pavimentadas o de ripio.
- Número de Pistas: Las vías consideradas en esta zona tienen 1 ó 2 pistas.
- Ancho de la calzada en metros. (m)
- Orientación del arco.
- Longitud en kilómetros (km)
- Altitud sobre el nivel del mar (m).
- Kilómetros de bajada (km)
- Kilómetros de subida (km)

- Pendiente de Bajada, (m/km) obtenida a partir de los kilómetros de bajada divididos por la longitud del arco.
  - Pendiente de Subida, (m/km) obtenida a partir de los kilómetros de subida dividido por la longitud del arco
  - Curvatura (°/km)
  - Rugosidad (mm/km)
  - Interferencia Adelantamiento
  - Interferencia Vehículos Lentos
- **Estudio Macrozona Sur (Sectra)**

En base a los antecedentes anteriores, se ingresaron los datos que caracterizan cada arco de la red de modelación. Dado que existe información que se repite en las diversas fuentes de información, se estableció un criterio de prioridad para la fuente de información utilizada. De esta manera el orden de prioridad es el siguiente:

- Catastro Vial estudios de Base
  - Catastro Vial estudio Ruta de la Fruta
  - Características estudio Macrozona Sur
  - Inventario vial, Red de Caminos.
- **Resumen**

A partir de la información de los catastros, mediante un proceso de asimilación fueron caracterizados los arcos de la red de modelación del SIG. De esta manera, los parámetros asociados a cada arco de la red son los siguientes

- Tipo de carpeta
- Número de calzada
- Ubicación del arco.
- Pendiente en subidas
- Pendiente en bajadas
- Altura Promedio
- Rugosidad.

Como se indica en el listado anterior, se ha definido un código de tipología para cada arco de la red. En efecto, la red de modelación de la Macrozona Centro Sur incluye rutas de distinta naturaleza, por lo cual no se puede establecer un criterio o un modelo único para caracterizar a todos los arcos a la vez. Por esta razón se estableció una tipología que permita clasificar los arcos en grupos con características comunes; de tal manera que en cada uno de estos grupos de arcos se establezca un criterio único para modelar los parámetros de asignación del modelo EMME/2, principalmente la función de flujo - velocidad. La tipología definida es la siguiente:

1. Urbano.
2. Pavimentada.
3. Ripio.
4. Tierra.
5. Conector Centroide.
6. Enlace.
7. Intransitable.
8. DTS.
9. Doble Calzada.
10. Cuesta.

**Tabla N° -3**  
**Nodos de la Red de Modelación según Provincia y Tipo**

Región	Provincia	Interurbano	Suburbano	Urbano	Total
VI	Cachapoal	81	31	55	167
	Cardenal Caro	60	13	18	91
	Colchagua	70	15	26	111
Total VI		211	59	99	369
VII	Cauquenes	29	6	4	39
	Curicó	53	7	26	86
	Linares	46	10	20	76
	Talca	75	14	29	118
Total VII		203	37	79	319
<b>Total</b>		<b>414</b>	<b>96</b>	<b>178</b>	<b>688</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° -4**  
**Longitud de Arcos según Tipo y Región**

Tipo De Arco	VI	VII	VI-VII	Total
Pavimentado	1.123,5	1.412,3	9,4	2.545,2
Ripio	186,8	619,4	11,0	817,2
Tierra	228,5	51,0		279,5
Conectores	37,1	42,1		79,2
Enlaces	12,8	11,8		24,7
Intransitables	11,5	285,1		296,7
DTS	25,5			25,5
<b>Total</b>	<b>1.625,6</b>	<b>2.421,8</b>	<b>20,4</b>	<b>4.067,9</b>

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla N° -5**  
**Número de Arcos según Tipo y Región**

Tipo De Arco	VI	VII	VI-VII	Total
Pavimentado	666	462	2	1132
Ripio	74	196	2	272
Tierra	110	24	0	134
Conectores	92	88	0	180
Enlaces	86	56	0	142
Intransitables	8	32	0	40
DTS	22	0	0	22
<b>Total</b>	<b>1060</b>	<b>858</b>	<b>4</b>	<b>1922</b>

Fuente: Elaboración Propia

---

**Figura N° -8**  
**Red Topológica**

Finalmente, en el anexo digital se entregan las características obtenidas para cada arco de la red registrado en el modelo SIG.

### **7.1.3 Modelo COPER**

La caracterización de la red requiere definir costos de operación y tiempos de viaje para cada arco que se modela. En este sentido el modelo COPER permite calcular costos de operación y velocidades por cada tipo de vehículo a modelar, en función de las características físico-geométricas de cada arco. Para efectuar dichos cálculos el modelo COPER incorpora las formulaciones del modelo HDM-III, adaptadas a la realidad chilena. En este caso COPER se ha implementado en plataforma excel, lo que permite incorporar automáticamente un archivo (caract.xls) que incluye todos los arcos de la red con sus respectivos campos con características (parámetros de entrada). Dicho archivo es generado por el modelo SIG.

Concretamente, el modelo requiere los siguientes parámetros de entrada generados por el SIG.

- Curvatura (°/km)
- Pendiente subida (m/km subida)
- Pendiente bajada (m/km bajada)
- Rugosidad (IRI)

El modelo COPER, posteriormente a su ejecución, entrega como resultado un archivo que contiene los siguientes datos (ver Figura N° -9 y Figura N° -10):

**Figura N° -9**

## Planilla de Ingreso de Datos COPER

Microsoft Excel - COPER PRIVADO MZCS.xls

CPU: 100% RAM: 79% (375.9 MB) MEM: 2% (47 MB)

AS16 106.90009523245

VEHICULO	ANOS	OTAS	C. SIM	C. ART	BUSES	BR	BI
PRECIO VEH. (\$MVA)	8.122.142	3.433.837	1157.406	24.206.971	63.448.435	0	0
PRECIO COMB. (\$M)	501	511	234	301	301	0	0
PRECIO NEUM. (\$MVA)	22.019	40.622	108.051	142.220	132.332	12.096	12.096
PRECIO MANT. (\$MVA)	3.028	3.028	3.028	3.028	3.028	3.028	3.028
PRECIO LUBR. (\$MVA)	2.503	2.503	1.053	1.053	1.053	1.053	1.053
VALOR TIEMPO (\$MVA)	5.533	7.162	4.101	4.101	23.653	0	0

PARAMETROS	UNIDADES	AUTOS	OTAS	C. SIM	C. ART	BUSES	BR	BI
BR		1.0285	1.0284	1.0285	1.0284	1.0285	1.0285	1.0285
BI		0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214	0.214

Figura N° -10  
Planilla de Salida de Datos COPER

Microsoft Excel - COPER PRIVADO MZCS.xls

CPU: 100% RAM: 79% (381.1 MB) MEM: 2% (47 MB)

AS16 106.90009523245

VEHICULO	ANOS	OTAS	C. SIM	C. ART	BUSES	COMBUSTIBLE	REPUESTOS MANO DE OBRA	NEUMATICOS	LUBRICANTES	DEPRECIACION	TOTAL COMBUSTIBLE	REPUESTOS MANO DE OBRA	NEUMATICOS	LUBRICANTES	DEPRECIACION	TOTAL COMBUSTIBLE	REPUESTOS MANO DE OBRA	NEUMATICOS	LUBRICANTES	DEPRECIACION	TOTAL COMBUSTIBLE	REPUESTOS MANO DE OBRA	NEUMATICOS
1	14.7	77.2	73.9	64.1	60.0	42.4	9.5	3.5	1.3	2.5	43.0	10.2	33.9	13.4	4.2	1.9	1.5	24.3	16.2	7.5	12.9	14.8	1.1
2	14.7	77.2	73.9	64.1	60.0	42.4	9.5	3.5	1.3	2.5	43.0	10.2	33.9	13.4	4.2	1.9	1.5	24.3	16.2	7.5	12.9	14.8	1.1

La Tabla N° -6 muestra los valores actualizados de los precios privados publicados por MIDEPLAN, válidos para el mes de diciembre del año 2004. Estos parámetros han sido incorporados a la planilla COPER para estimar los parámetros de la red Macrozona Centro Sur.

**Tabla N° -6  
Valores Sociales y Privados Actualizados de Parámetro de Consumo, Pesos de Diciembre de 2004.**

Vector de Precios	Unidades	Tipo de Vehículo				
		Autos	Camionetas y Jeep	Camiones Simples	Camiones Pesados	Buses
<b>Precios Privados</b>						
Valor Vehículos	(\$/veh)	8.122.142	9.499.897	11.517.436	24.206.157	69.448.451
Combustibles	(\$/lt)	501	511	294	301	301
Neumáticos	(\$/neum.)	22.019	48.822	108.851	142.220	132.992
Mantenición	(\$/hr)	3.029	3.029	3.029	3.029	3.029
Lubricantes	(\$/lt)	2.101	2.101	1.053	1.053	1.053
<b>Precios Sociales</b>						
Valor Vehículos	(\$/veh)	7.713.000	9.148.000	10.197.000	23.812.000	67.830.000
Combustibles	(\$/lt)	243	247	250	254	254
Neumáticos	(\$/neum)	18.621	41.288	92.053	120.274	120.274
Mantenición	(\$/hr)	2.114	2.114	2.114	2.114	2.114
Lubricantes	(\$/lt)	1.904	1.904	955	955	955
Valor Tiempo	(\$/hr)	7.215	8.517	3.226	3.226	28.936

Fuente: Elaboración Propia

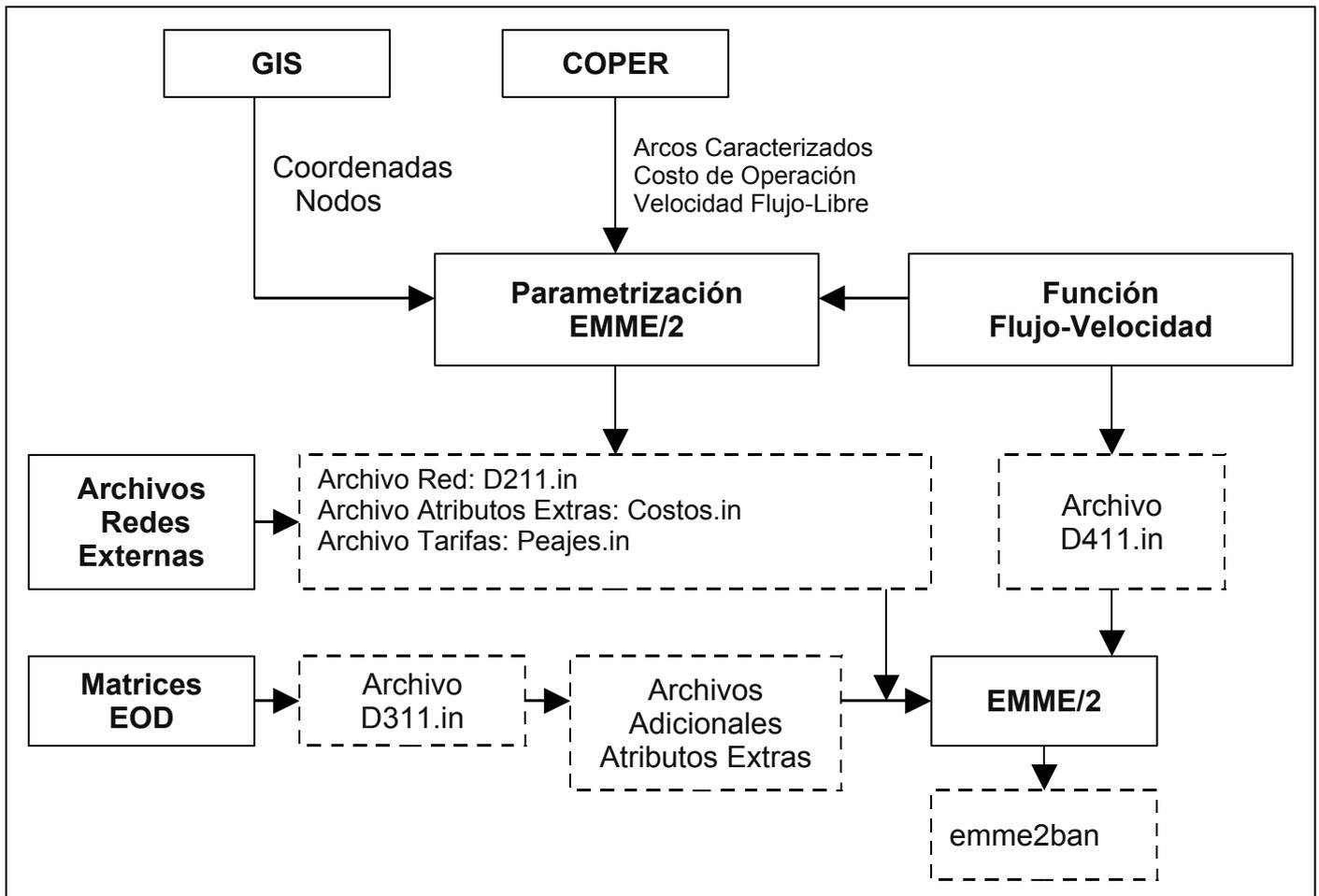
### 7.3.1 Parametrización EMME/2 Y Red Externa

Las plataformas GIS y COPER generan datos para ser utilizados en la modelación de la red. Sin embargo, previo a la utilización de estos datos, se requiere hacer un ajuste de la información, de manera de generar los archivos específicos en el formato requerido por EMME/2.

Para automatizar este procedimiento, se ha desarrollado una planilla excel denominada Parametrización EMME/2, la cual permite generar los archivos codificados para su ingreso a EMME/2. Esta planilla utiliza la información generada por los modelos GIS y COPER, y genera el archivo de entrada para EMME/2 de la red de modelación.

Los datos de entrada a la Planilla Parametrización, y los correspondientes archivos de salida se describen en la Figura N° -11.

**Figura N° -11  
Interacción Parametrización EMME / 2**



Una de las funciones de la planilla Parametrización es que permite incorporar una red externa complementaria a la red exclusiva de las regiones VI y VII. La red externa es necesaria para representar la accesibilidad de los viajes con origen y/o destino en una zona externa. Se da el caso de que mientras mejor representada se tenga la red externa, será posible representar de mejor manera las elecciones de los viajes externos. Por ejemplo, un viaje entre Santiago y Las Cabras (VI Región) se encuentra condicionado en gran parte a la estructura de la red representativa de la Región Metropolitana. En el caso anterior se debe definir con suficiente detalle la alternativa Autopista del Sol – Ruta G-60 – Ruta 66, con respecto a la alternativa Ruta 5 – Ruta 66. Parte de estas alternativas se encuentran incluidas en la Región Metropolitana.

Para representar la red externa, se ha recurrido a los datos provenientes de los estudios “Concesión Ruta de la Fruta (Citra 2005)”, para incorporar la red norte, y a la red generada en el estudio “Macrozona Sur”, para el caso del sector sur. De esta última red (Macrozona Sur) se ha considerado la red asociada a la VIII Región en forma completa. El resto del sur se ha representado por medio de conectores a la red.

#### 7.1.4 Modelo EMME/2

Finalmente, la plataforma de modelación de transporte para la red Macrozona Centro Sur corresponde al software de modelación de transporte EMME/2. Como se ha mencionado anteriormente, en el presente estudio se emplea el software EMME/2 para implementar, calibrar y simular la red de modelación que requiere el modelo de transporte.

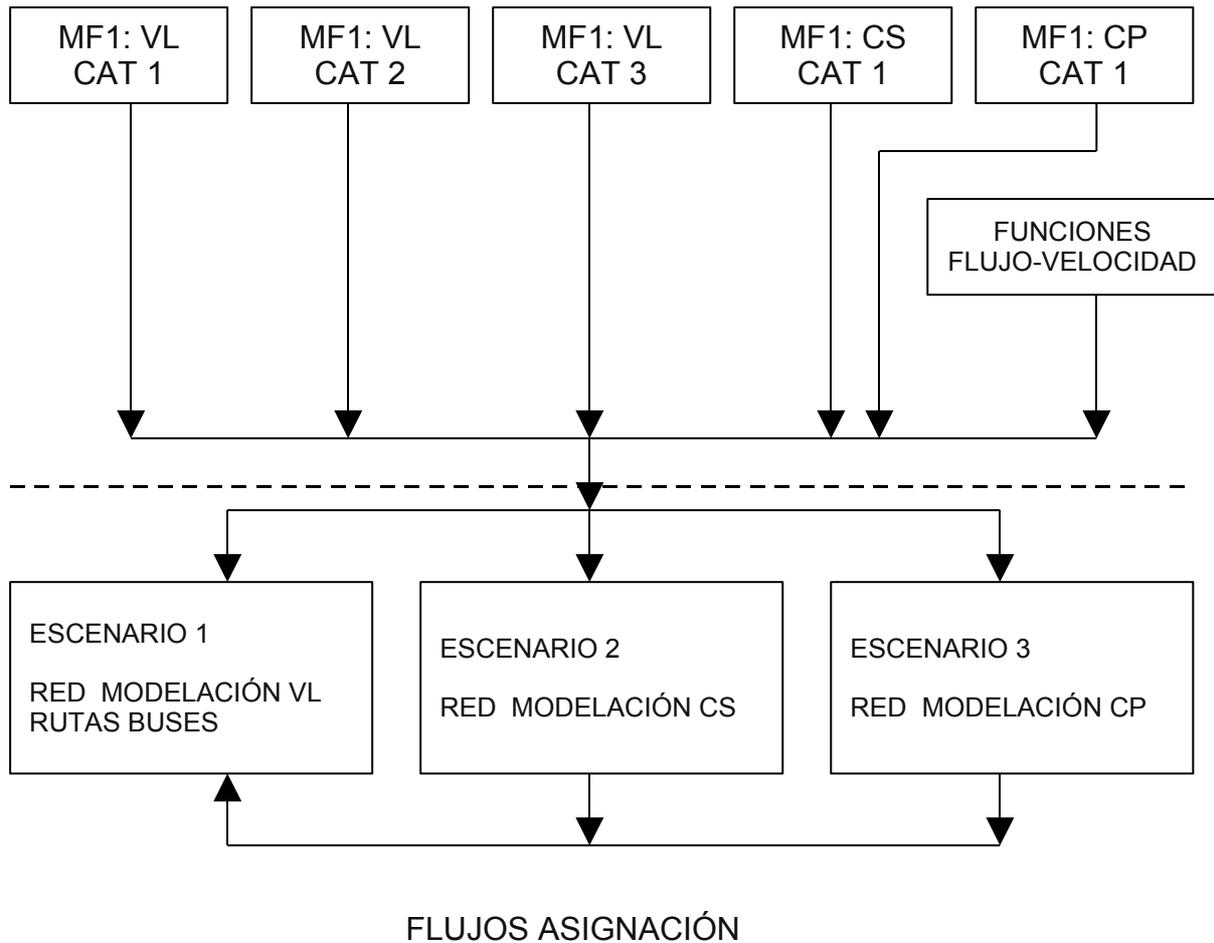
EMME/2 requiere para su funcionamiento en la fase de asignación una serie de archivos representativos de las redes de modelación, de los viajes entre zonas y de las funciones de costo para asignar. Estos provienen de la planilla Parametrización EMME/2, tal como se indica en la figura que sigue a continuación.

Los datos de oferta vial, reflejados en las redes de modelación se organizan en EMME/2 en **escenarios**. En efecto, EMME/2 permite dentro de un mismo archivo de modelación la generación de varios escenarios, cada uno de estos asociados a una red particular, sistema que se usa frecuentemente para modelar diversas alternativas de proyecto, o redes en distintos cortes temporales. En el presente caso, se ha utilizado esta última facilidad para modelar por separado los modos reasignables de la red, vale decir, se generaron 3 escenarios de modelación:

- Escenario 1: Vehículos Livianos
- Escenario 2: Camiones simples
- Escenario 3: Camiones de más de dos ejes

Se ha adoptado este enfoque, tomando en cuenta que el modelo de elección de ruta utilizado considera que la asignación de los camiones no depende del tiempo de viaje (se consideran como parámetros del costo de viaje la combinación de costo operacional y tarifa), por lo que puede ser modelado en forma independiente, para posteriormente ser incluido en la asignación de vehículos livianos, en formato de flujo fijo.

**Figura N° -12**  
**Estructura Archivo de Modelación de Transporte “emme2.ban”**



Con estos datos la plataforma de modelación de transporte genera un archivo en formato EMME/2 denominado *emme2ban*, el cual contiene las redes de modelación para cada tipo de vehículo separadas en escenarios, los parámetros asociados a cada arco, las funciones de flujo velocidad y las matrices de origen destino correspondientes a cada período, tipo de vehículo y categoría. Cabe señalar que el procedimiento para obtener las matrices origen-destino es tratado en los siguientes puntos.

## 7.4 DEFINICIÓN MODELO DE ASIGNACIÓN

En esta sección se presentan los procedimientos metodológicos que se han empleado para calibrar la red de modelación y obtener las matrices origen destino

de viajes con lo cual se configura el modelo de asignación de la Macrozona Centro-Sur.

Un primer requerimiento fue codificar una red de modelación, lo cual ha sido descrito en la fase sección anterior, obteniéndose como resultado el archivo de transporte emme2ban, que permite trabajar el modelo en plataforma EMME/2.

Posteriormente se definió la función de costo generalizado de viaje para cada tipo de vehículo y categoría de usuario, la cual se constituye la variable de decisión en el algoritmo de asignación. Paralelo a lo anterior se justifica el criterio de asignación definido para modelar, que en este caso es del tipo multiusuario estocástico.

Por otro lado se especifica el procedimiento para obtener matrices origen-destino de viajes, a partir de la información de encuestas y conteos vehiculares.

Finalmente se presenta la metodología para incorporar los flujos de buses en la modelación, lo cual pasa por establecer un modelo de ajuste de frecuencias de itinerarios de manera de que el modelo sea capaz de replicar los flujos observados.

## **7.1.5 Funciones de Costo y Criterio de Asignación**

### **a. Vehículos livianos**

La asignación vehicular se lleva a cabo con el software EMME/2 aplicando un criterio multiusuario, lo cual está orientado a incorporar en el modelo de asignación el hecho de que la elección de ruta se encuentra condicionada a la percepción que tiene el usuario de las condiciones de las rutas alternativas, ya sean éstas el estándar de la ruta, la distancia o la tarifa en el caso de vías concesionadas. Particularmente se aplicará el criterio de que la elección de ruta pasa por una decisión de utilizar vías con alto estándar pagando peajes, o vías de mayor distancia y bajo estándar para evitar el pago. La diversidad en la percepción de la tarifa como variable de elección se encuentra normalmente ligada al estrato socioeconómico del usuario que escoge la ruta, lo cual puede ser internalizado en el modelo mediante la categorización de la demanda de viajes por estratos de ingreso. Cada categoría poseerá un a valorización distinta de los atributos que inciden en la elección de ruta, lo cual se refleja en el modelo de asignación en que los estratos deben ser modelados con distintas funciones de costo percibido.

Para el caso de los vehículos livianos, en el presente estudio se ha decidido modelar el costo de viaje percibido por los usuarios de la red como una combinación de tiempo y tarifa. La razón para hacerlo así es que de esta manera es posible utilizar la especificación de la función de utilidad calibrada en el estudio de referencia Concesión Ruta de la Fruta (CIS 2002). En este caso, el costo de viaje percibido por el usuario se expresa en unidades de tiempo, de la siguiente manera:

$$CG_a^i = t_{viaje}_a + \alpha_i \cdot tarifa_a \quad (1)$$

El parámetro  $\alpha_{2i}$  corresponde al inverso del valor del tiempo de la categoría de usuario  $i$ ; mientras que  $tarifa_a$  está asociado al valor del peaje en el arco, si lo hubiere.

**Tabla N° -7**  
**Valores del Tiempo por Tipo de Usuario (\$ diciembre 2005)**

Nivel de Ingreso	Temporada Normal		Temporada Alta
	Viajes Cortos	Viajes Largos	
Ingreso Bajo	36	32	66
Ingreso Medio	65	44	85
Ingreso Alto	98	54	103

Fuente: Elaboración propia basados en CIS 2002

Donde:

Ingreso Bajo:	Menor a	\$283.818
Ingreso Medio:	Entre	\$283.819 y \$578.776
Ingreso Alto:	Mayor a	\$578.777

**Tabla N° -8**  
**Tarifas Modeladas, Pesos de 2005**

Plaza de Peaje	Ubicación km	Auto/Camioneta	C2E	C+2E
<b>Santiago - Talca</b>				
Paine	43.78	400	700	1200
Champa	47.54	400	700	1200
Angostura	56.5	1500	2700	4800
Rancagua Norte	66.8	400	700	1200
Rancagua Centro	87.1	400	700	1200

Requinoa	99.72	400	700	1200
Rosario	107.1	400	700	1200
Rengo	114	400	700	1200
Pelequén	121.5	400	700	1200
San Fernando Sur	137.5	400	700	1200
San Fernando Centro	137.5	400	700	1200
Chimbarongo	153	400	700	1200
Quinta	163	1500	2700	4800
Morza	162	400	700	1200
Teno	176	400	700	1200
Curicó Norte	188	400	700	1200
Curicó Centro	189	400	700	1200
Curicó Sur	190	400	700	1200
Lontué	198.8	400	700	1200
Molina	204	400	700	1200
Pulmodón	210	400	700	1200
<b>Talca - Chillán</b>				
Rio Claro	220	1600	2800	5000
Talca 1	253.4	400	700	1200
Talca 2	255.4	400	700	1200
Unihue	259.8	400	700	1200
Maule	263.7	400	700	1200
Colbún	269.6	400	700	1200
San Javier Norte	270.6	400	700	1200
San Javier Centro	273.4	400	700	1200
Constitución	277.2	400	700	1200
Villa Alegre	284	400	700	1200
Linares	300.7	400	700	1200
Retiro	325	1600	2800	5000
Parral	340.95	400	700	1200
San Carlos Norte	374.74	400	700	1200
San Carlos Sur	378.14	400	700	1200
Cocharcas	391.93	400	700	1200
<b>Santiago - San Antonio</b>				
Puangue	80.9	570	1030	1770
Melipilla 3	66	570	1030	1770
Melipilla 2	66	1000	1800	3100
Melipilla 1	65.7	1540	2770	4770
Pomaire	61.7	1000	1800	3100
El Paico	51.5	1000	1800	3100
El Monte	43.5	855	1540	2660
Talagante	38.6	855	1540	2660
Malloco	28.5	425	770	1330
Rinconada	14.4	360	650	1120
Vespucio	8.7	360	650	1120

Fuente: Dirección de Vialidad

EMME/2 permite realizar asignaciones vehiculares con un criterio multiusuario, en donde se define un número de matrices origen-destino equivalente a las categorías de usuarios que se desee modelar. En el caso de vehículos livianos, el costo de viaje percibido por los usuarios de la red se modela como una combinación de tiempo y tarifa, vale decir, esta puede ser expresada en unidades de tiempo, de la siguiente manera:

$$CG_a^i = (t_{viaje}_a + \alpha_i \text{ tarifa}_a)$$

El parámetro  $\alpha_i$  corresponde al inverso del valor del tiempo de la categoría de usuario  $i$ ; mientras que  $\text{tarifa}_a$  está asociado al valor del peaje en el arco, si lo hubiere. El segundo término de la expresión anterior corresponde a una constante dentro de la asignación (no depende del flujo asignado), por lo cual la función de costos puede ser expresada como sigue:

$$CG_a^i = (t_{viaje}_a + cte_i)$$

El problema anterior puede ser resuelto en EMME/2 con una asignación del tipo multiusuario con costo generalizado. Cada categoría de usuario  $i$  percibe el mismo tiempo de viaje para cierto arco  $a$ , pero se diferencian en la percepción del resto de los costos de dicho arco.

En el caso de vehículos livianos, los valores del tiempo adoptados son el resultado del proceso de calibración de modelos de elección de ruta de vehículos livianos y camiones, presentados en el capítulo 3 del presente informe.

## b. Camiones Simples y Pesados

Para el caso de camiones, se ha considerado que el costo percibido para la asignación de ruta corresponde a la suma de tarifa y costo operacional (CO). Luego, la expresión del costo se expresa de la siguiente manera:

$$CG_a^{cs} = CO_a^{cs} + tarifa_{cs,a}$$

$$CG_a^{cp} = CO_a^{cp} + tarifa_{cp,a}$$

Lo cual puede ser modelado con una asignación de tipo multiusuario con costo generalizado.

### 7.1.6 Asignación Estocástica

Una vez que se posee la red de modelación y la función de costo a considerar en la elección rutal, fue necesario definir el criterio de asignación a emplear en la modelación.

Los algoritmos de asignación de equilibrio, basados en el Primer Principio de Wardrop consideran que todas las rutas escogidas por los usuarios para viajar entre un determinado par origen-destino presentan un costo igual y aquellas de costo superior no son utilizadas. En este proceso la congestión juega un rol preponderante al determinar la ruta de costo mínimo.

Sin embargo, en el caso interurbano, donde el grado de congestión es más bien bajo, la asignación resultante corresponde usualmente a una del tipo “todo o nada”, vale decir, todo el flujo producido por un par origen-destino (O/D) es asignado a la ruta de costos mínimo. Esto resulta ser particularmente problemático en una red interurbana con viajes de mediana y larga distancia, en donde los usuarios de la red comienzan a percibir atributos de la red distintos al tiempo de viaje, tales como el consumo de combustible, el deterioro del vehículo, la seguridad de la ruta, entre otros. Se ha observado que en la práctica, estos atributos no son percibidos de manera uniforme por los usuarios de las redes, lo que explica el fenómeno de que, para cierto par origen destino, un porcentaje de los viajes se realizan por rutas que no representan el mínimo costo medido (y resultante de un equilibrio de Wardrop). Esto explica que una asignación del tipo determinístico, no suele representar el fenómeno de asignación a redes interurbanas de baja congestión.

Una forma de resolver este problema es aplicar el procedimiento conocido como **asignación estocástica**. En ésta se asume que los viajeros de un mismo par O/D perciben en forma distinta los costos de viajar por cada una de las rutas alternativas en dicho par. De esta forma, estos viajeros se asignan a distintas rutas de las que sirven al par O/D.

EMME/2 posee un programa denominado M-E1.mac, el que consiste en la programación del algoritmo SUE (Sheffy, 1985, pág 327) para el caso de una asignación del tipo multiusuarios. El algoritmo SUE es un método de asignación estocástico de equilibrio de usuarios, y su planteamiento es el siguiente:

### **Algoritmo Asignación Estocástica SUE:**

**Paso 0: Inicialización.** Realización de una carga estocástica en la red, basada en un conjunto inicial de tiempos (costos) de viaje ( $t_a^0$ ). Esto genera un conjunto de flujos en arcos ( $x_a^1$ ). Definir  $n=1$

**Paso 1: Actualización de tiempos (costos).** Calcular  $t_a^n = t_a(x_a^n)$ , para todo a arco de la red.

**Paso 2: Búsqueda de Dirección.** Realizar una carga estocástica en la red basada en los tiempos (costos) de viaje actualizados ( $t_a^n$ ). Esto conduce a una solución auxiliar de flujos ( $y_a^n$ )

**Paso 3: Actualización de Flujos,** mediante la siguiente relación:

$$x_a^{n+1} = x_a^n + \frac{1}{n} (y_a^n - x_a^n)$$

**Paso 4: Criterio de Convergencia:** Si se obtiene la convergencia deseada, entonces detenerse. Si no,  $n=n+1$  y volver al Paso 1.

El algoritmo descrito fue modificado para incluir la posibilidad de asignación multiusuario. Luego, el programa M-E1.mac queda definida mediante la siguiente secuencia, donde m identifica a la clase de usuario:

### **Algoritmo Asignación Estocástica, M-E1.mac (multiusuario):**

**Paso 0: Inicialización.** Realización de una carga estocástica en la red, basada en un conjunto inicial de tiempos (costos) de viaje ( $t_a^0$ ). Esto genera un conjunto de flujos en arcos ( $x_a^{m1}$ ). Definir  $n=1$

**Paso 1: Actualización de tiempos (costos).** Calcular  $t_a^n = t_a(x_a^n)$ , para todo a arco de la red. Considerar:

$$x_a^n = \sum_m x_a^{mn}$$

Paso 2: **Búsqueda de Dirección.** Realizar una carga estocástica en la red basada en los tiempos (costos) de viaje actualizados  $t_a^n$ . Esto conduce a una solución auxiliar de flujos ( $y_a^{nm}$ ).

Paso 3: **Actualización de Flujos**, mediante la siguiente relación:

$$x_a^{m,n+1} = x_a^{m,n} + (1/n)(y_a^{m,n} - x_a^{m,n})$$

Paso 4: **Criterio de Convergencia:** Si se obtiene la convergencia deseada, entonces detenerse. Si no,  $n=n+1$  y volver al Paso 1.

Se debe notar que el paso 1 difiere dependiendo de la especificación adoptada para la curva flujo demora. En aquellos casos en que el tiempo de viaje depende además del flujo en el sentido de circulación, del flujo en otros arcos, el cálculo del tiempo de viaje debe ser realizado empleando los flujos resultantes de la iteración anterior. Esto sucede en el presente caso, para la modelación de vehículos livianos, puesto que la especificación empleada en el cálculo de tiempos de viaje en calzada simple, incorpora directamente el flujo en ambos sentidos de circulación. Una situación alternativa se encuentra en aquellas situaciones en que el costo generalizado de transporte es independiente del nivel de flujo en los arcos, tal es el caso de la modelación de camiones, en donde se consideró para su modelación costos de operación constantes en función del flujo.

Por otra parte, es necesario señalar que la carga estocástica en la red mencionada en el paso 2, involucra los siguientes procesos:

- Perturbar los costos en los arcos con una cierta distribución de error. En este sentido, se utilizó una distribución uniforme con valor medio  $C$  (costo del arco) y desviación  $\mu \cdot C$ , siendo  $\mu$  un coeficiente de variación exógeno.
- Asignar “todo o nada” con estos tiempos (costos).

El paso 1 se resuelve mediante una asignación con matriz nula y flujo fijo (fan). La expresión a utilizar en la función de costo para incluir la perturbación estocástica es de la siguiente forma:

$$C_a^i = \bar{C}_a^i (1 + \mu(2\theta_a^i - 1)) \quad (4.7)$$

Donde  $i$  indica la categoría de usuario,  $\mu$  la dispersión especificada al costo que en el presente estudio es de un 15% y  $\theta_a^i$  corresponde a un número aleatorio, de distribución uniforme del tipo  $U(0,1)$ .

Para calcular estos números aleatorios se utiliza una expresión que replica la forma de la función  $U(0,1)$ , desarrollada en la macro “Stochas.mac” (ver sitio web inro.ca). La forma en que se calcula el número aleatorio para cada arco de la red, permite mantener la semilla como un parámetro de control al inicio del algoritmo, pudiéndose de esta manera replicar las asignaciones realizadas.

Finalmente, la cantidad de iteraciones es controlada mediante el siguiente criterio de convergencia en los flujos asignados:

$$\Delta_m = \left| \left( X^{m,n+1} - X^{m,n} \right) / X^{m,n} \right| * 100 < \epsilon \quad \forall m \quad (4.9)$$

### 7.1.7 Consolidación de Matrices

El proceso de consolidación de matrices origen-destino está estrechamente vinculado a la etapa de calibración del modelo de asignación, y consiste en determinar una matriz única, por tipo de vehículo (automóviles y camiones), a partir de las encuestas origen-destino obtenidas en diversos puntos de la red. La construcción de dicha matriz única, debe evitar los dobles conteos y además debe ser capaz de reproducir los flujos observados en la red. La segunda condición se logra en la etapa de ajuste a partir de conteos, lo cual se explica posteriormente.

Los dobles conteos se producen al existir al menos dos puntos que controlen el mismo par origen-destino. Si dichos puntos se encuentran en serie, los viajes para ese par origen-destino, podrán ser promediados. Si por el contrario, se encuentran en paralelo bastará con sumarlos. Sin embargo, la diversidad de situaciones que puede producirse incluso en una red de mediana complejidad hace en general extremadamente laborioso el proceso de consolidación, esto es, obtener una matriz única a partir del conjunto de encuestas realizadas en diversos puntos de control.

Otro problema que debe ser superado por la consolidación de matrices es la existencia de celdas vacías, producto del elevado nivel de desagregación de las matrices (por un gran número de zonas o desagregación por tipo de producto o usuario). A este respecto, se debe mencionar dos tipos de celdas nulas:

- Cero medido o estructural: esta celda nula se debe a que la ubicación geográfica del punto de control no permite controlar viajes entre un determinado par de zonas.
- Cero muestral: el cual se debe a que la participación del par origen-destino, en el total de viajes controlados es muy baja lo cual deriva en una celda nula por consideraciones de muestreo.

Una manera comúnmente utilizada para evitar el problema de las celdas vacías consiste en promediar solamente aquellos viajes mayores a cero. Sin embargo, este método incurre en una sobreestimación de los viajes al no considerar las celdas nulas por muestreo.

Considerando estos inconvenientes, se plantea realizar la consolidación de encuestas utilizando la metodología propuesta por Gálvez et al (1996), la cual permite encontrar los mejores valores para las siguientes variables:

Sean:

$\lambda_{ij}$ : Flujo real en vehículos por hora que circula desde la zona origen  $i$  a la zona destino  $j$ . Esta es la matriz consolidada que se requiere estimar. Corresponde a un período temporal y tipo de vehículo dado, pero por simplicidad han sido omitidos los subíndices correspondientes.

$X_r$ : Flujo real en vehículos por hora que circula por el arco  $r$ . Es también un valor desconocido que se requiere estimar y corresponde a un período temporal y tipo de vehículo dado.

Entre estas variables existe la siguiente relación:

$$X_r = \sum_{ij} \lambda_{ij} \cdot p_{ijr}$$

donde,  $p_{ijr}$  representa la proporción del flujo desde la zona origen  $i$  a la zona destino  $j$  que pasa por el arco  $r$ . Esta probabilidad de elección es obtenida de la calibración de la red vial.

La estimación de estas variables deberá hacerse con la siguiente información:

- **Datos procedentes de las Encuestas Origen-Destino**

$n_{ijk}$  : Número total de vehículos observados en el punto de control  $k$  con origen en la zona  $i$  y destino en la zona  $j$ .

$t_k$  : Duración, en horas, de la encuesta Origen-Destino en el punto de control  $k$ .

$m_k$  : Tasa de muestreo, esto es, proporción que representa el flujo encuestado en relación al flujo total en el punto de control  $k$ .

- **Datos procedentes de los conteos**

$n_r$  : Número total de vehículos observados en el punto de conteo  $r$ .

$t_r$  : Duración, en horas, del conteo en el punto de conteo  $r$ .

- **Datos procedentes del modelo de asignación**

$p_{ij}^a$  : Proporción del flujo desde la zona origen  $i$  a la zona destino  $j$  que pasa por el arco  $a$ . Esta proporción es obtenida mediante el modelo de asignación.

Al combinar los datos procedentes de las encuestas Origen-Destino y los conteos vehiculares se tiene un problema de sobreinformación, esto es, hay más datos que incógnitas. Para resolver este tipo de problemas existen diversos métodos posibles,

tales como regresión lineal múltiple, minimización de la función chi cuadrado, y máxima verosimilitud, de entre los cuales se ha elegido este último.

El método de máxima verosimilitud es una técnica de estimación que se emplea con frecuencia, porque posee múltiples propiedades asintóticas (por ejemplo, eficiencia y consistencia). El objetivo es encontrar el valor de población que mejor se ajuste a la muestra observada, es decir, el valor de la población hipotético más susceptible que, cualquier otro, de generar la muestra observada. Se puede demostrar que la solución es del siguiente tipo:

$$\langle \lambda_{ij} \rangle = \frac{\sum_k n_{ijk}}{\sum_k t_k \cdot m_k \cdot P_{ijk}}$$

Utilizando un algoritmo de asignación como el descrito (estocástico de equilibrio), se obtiene la matriz de proporciones  $p_{ijk}$ , con lo cual es posible estimar una matriz de viajes consolidada. Esta matriz podrá ser modificada posteriormente (si se requiere) mediante un método de ajuste en base a conteos vehiculares.

Cabe señalar finalmente que el método descrito ha sido programado por el consultor y aplicado con éxito en diversos estudios ejecutados.

### **7.1.8 Cálculo de Matrices de Proporciones “Pijas”.**

Para realizar los procesos de consolidación y ajuste de matrices, es necesario aplicar un procedimiento que permita estimar las matrices de proporciones  $P_{ij}^a$ , para cada arco involucrado en dicho proceso (un subconjunto del total de arcos de la red). En Emme/2 este cálculo se puede realizar a través de la opción denominada “*additional assignment demand*” (*aad*), que se puede activar en el momento de realizar una asignación estándar.

La opción *aad* permite rescatar de la última iteración de Frank Wolfe los flujos por rutas para cada par O/D, con lo que es posible obtener la matriz de proporciones para cierto arco predeterminado. Sin embargo, EMME/2 sólo permite obtener una matriz de proporciones  $P_{ij}^a$  por cada asignación, lo que significa que se deben realizar sucesivas asignaciones con el fin de rescatar cada una de las matrices de proporciones representativas de los arcos involucrados en el proceso de consolidación. Para resolver este problema se ha implementado un programa especial que permite rescatar las matrices de proporciones  $P_{ij}^a$ .

El proceso genera un conjunto de matrices adicionales  $M^{mn}$  que indica para cada celda qué arcos (sólo los marcados) se utilizaron en los viajes  $V_{ij}$ , para cada categoría  $m$  y en cada iteración  $n$ . Posteriormente, finalizado el proceso de asignación estocástica (Asigna.mac), mediante un programa adicional, se transforma el set  $M^{mn}$  en el formato usual de proporciones  $P_{ij}^a$ .

## **7.5 APLICACIÓN: CALIBRACIÓN RED MACROZONA CENTRO SUR**

Previo a la utilización del modelo de asignación con fines predictivos, fue necesario obtener matrices origen-destino a partir de las encuestas realizadas, y calibrar el modelo de transporte en su fase de asignación, de manera de obtener un modelo de asignación representativo de la operación actual de la red vial. En los siguientes acápite se presenta las actividades realizadas y resultados obtenidos.

### **7.1.9 Validación de la Red**

La fase de validación se realizó con el fin de verificar las elecciones de ruta que entrega el modelo de asignación, para ciertos pares relevantes, y en el caso de bajos niveles de flujo. En los casos de que las elecciones entregadas por el modelo no eran razonables, se procedió a modificar los parámetros de las funciones de costo (velocidad) en ciertos arcos, o la conectividad de las zonas, de tal forma de lograr corregir el defecto del modelo de asignación.

El proceso de validación y corrección de la red permite obtener un modelo que representa la elección de los usuarios, al menos en el caso de ausencia de congestión. Por otro lado, el procedimiento descrito permite tener los parámetros de la red prácticamente calibrados en forma anterior a la consolidación y ajuste de matrices, con lo cual se concentran los esfuerzos posteriores en la obtención de las matrices y no en modificaciones de la red de modelación.

### **7.1.10 Antecedentes de Tránsito**

La información de tránsito empleada en la calibración del modelo de asignación proviene principalmente de los flujos levantados en forma simultánea a la realización las encuestas origen-destino, como también de los conteos de tránsito realizados como parte de los estudios de base del presente estudio. Adicionalmente, se han considerado antecedentes recopilados de los Instrumentos Contadores de Tránsito, proporcionados por el MOP.

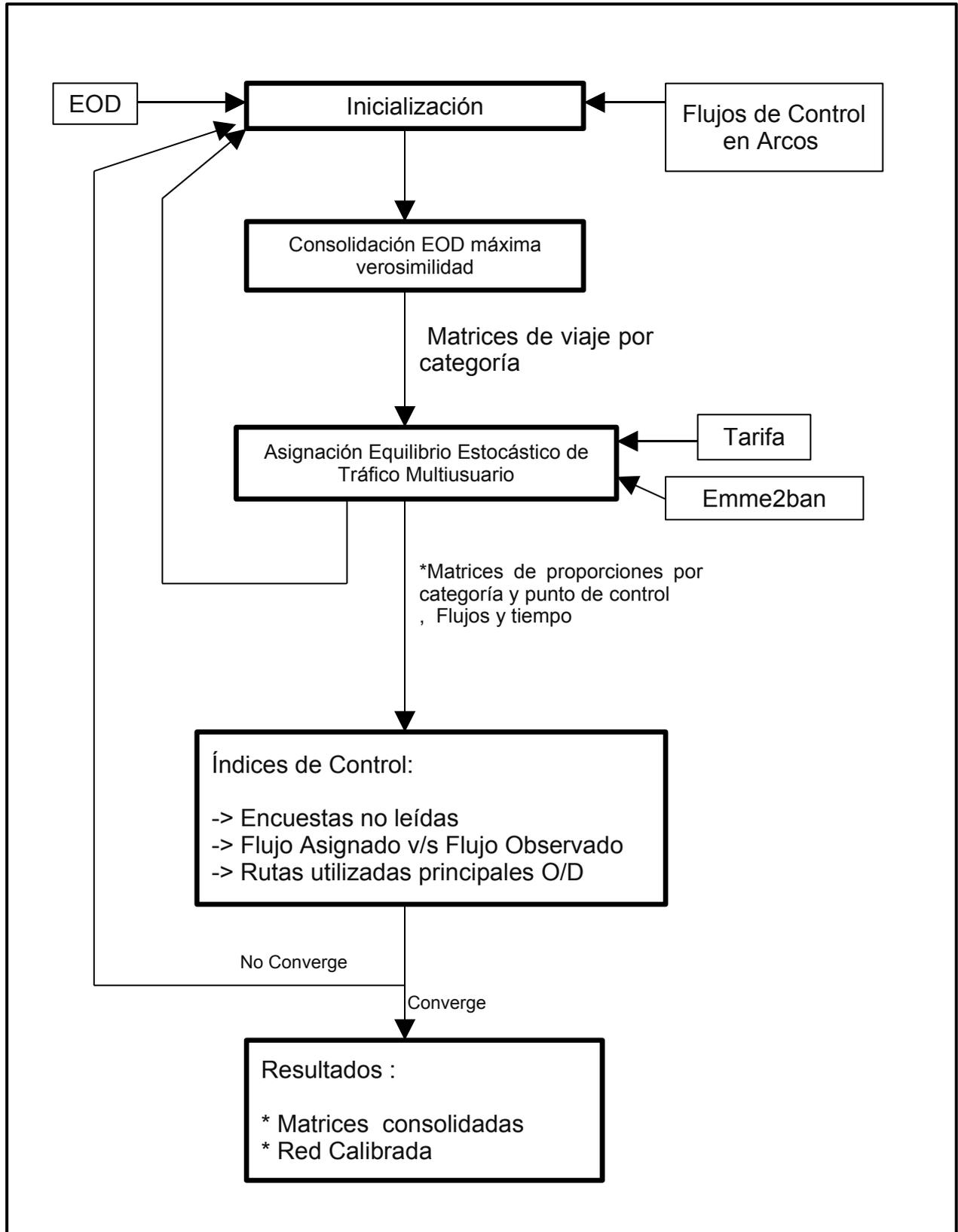
Estos antecedentes fueron empleados de forma de construir flujos por tipo de vehículo, los que son presentados junto con los resultados de la calibración. Un resumen de esta información se puede observar en los capítulos correspondientes a los Estudios de Base y Recopilación de Información.

### **7.1.11 Consolidación de Matrices**

Una vez realizada la estimación de frecuencias de transporte público y la validación de la red vial de modelación, se procede a la estimación de matrices consolidadas para cada modo, período y categoría.

Entre la Tabla N° -9 y Tabla N° -12 se presentan los resultados de la consolidación, en términos de flujos asignados versus modelados en los puntos de encuestas escogidos.

### **Figura N° -13 Consolidación de Matrices**



**Tabla N° -9**

## Flujos Asignados / Observados (Veh/Hora) Puntos de Consolidación, Camiones Simples

Ruta	Sector	Sentido	Nodo		Período Laboral		Período Festivo	
			Inicio	Final	Observado	Modelado	Observado	Modelado
Ruta 128	Parral Cauquenes	OP	3120	3140	10.2	6.5	11.1	6.9
Ruta 128	Parral Cauquenes	PO	3140	3120	8.8	6.6	10.2	9.5
L-30-M	San Javier-Constitución	PO	3080	3060	7.7	7.8	5.3	5.9
L-30-M	San Javier-Constitución	OP	3060	3080	7.3	7.9	3.6	4.4
Ruta 126	Cauquenes Limite Regional	NS	3060	3040	1.0	1.4	0.1	1.7
Ruta 126	Cauquenes Limite Regional	SN	3040	3060	0.3	1.3	0.1	1.2
K-60	Talca - Penciahue	OP	4900	4880	4.8	5.2	1.2	1.2
K-60	Talca - Penciahue	PO	4880	4900	4.9	5.1	0.8	1.0
K-16	Sagrada Familia-Villa prat	OP	4520	4540	2.5	0.1	1.7	2.0
K-16	Sagrada Familia-Villa prat	PO	4540	4520	4.3	2.4	1.9	0.0
J-60	Curico-Rauco	OP	4300	4310	6.2	5.6	4.1	3.4
J-60	Curico-Rauco	PO	4310	4300	6.0	5.8	4.1	3.9
Ruta 115 CH	Corralones	PO	3700	3720	4.4	0.0	2.1	0.0
Ruta 115 CH	Corralones	SN	3720	3700	4.6	0.0	2.9	0.0
Ruta 128	Cauquenes-Constitución	NS	3280	3220	3.0	2.9	3.0	3.2
Ruta 128	Cauquenes-Constitución	SN	3220	3280	2.8	3.2	4.0	3.3
M-80-N	Pullehue-Límite Regional	OP	3200	3220	1.6	3.7	3.3	4.4
M-80-N	Pullehue-Límite Regional	PO	3220	3200	1.3	3.5	2.2	3.5
I-50	San Fernando-Santa Cruz	OP	10960	10980	26.0	24.1	12.9	11.7
I-50	San Fernando-Santa Cruz	PO	10980	10960	21.1	19.6	13.7	12.7
Ruta 66	Poniente R5	OP	6700	6720	8.9	9.1	3.2	3.1
Ruta 66	Poniente R5	PO	6720	6700	11.1	12.9	2.5	2.9
I-50	Peraillo-Marchihue	OP	5740	5760	3.7	5.0	1.3	2.3
I-50	Peraillo-Marchihue	PO	5760	5740	4.3	5.3	1.6	2.6
I-80-G	Sur Litueche	NS	6430	6440	2.4	2.6	1.3	1.3
I-80-G	Sur Litueche	SN	6440	6430	2.9	2.0	1.3	1.6
Ruta 5	Linares-Parral	NS	1080	1060	25.7	27.6	18.2	17.9
Ruta 5	Linares-Parral	SN	1060	1080	26.8	28.6	19.8	20.0
Ruta 5	Peaje Angostura	NS	30016	2640	77.6	69.1	28.3	24.9
Ruta 5	Peaje Angostura	SN	2640	30016	60.1	50.8	22.7	24.1
Ruta 126	Sur Cauquenes	NS	3180	21536	3.0	2.9	0.9	1.0
Ruta 126	Sur Cauquenes	SN	21536	3180	3.8	2.7	1.3	1.4
Ruta 66	Lago Rapel	OP	6920	6925	10.0	9.9	8.7	8.8
Ruta 66	Lago Rapel	PO	6925	6920	10.6	10.1	7.3	7.3
Ruta 5	San Fernando-Curico	NS	1780	1760	42.6	45.7	24.2	23.6
Ruta 5	San Fernando-Curico	SN	1760	1780	35.8	37.0	42.8	29.6
I-72	Santa Cruz-Lolol	NS	5200	5220	4.7	5.4	2.3	2.7
I-72	Santa Cruz-Lolol	SN	5220	5200	4.7	5.0	1.9	1.6
L-11	San Javier-Colbún	OP	3440	1260	4.4	4.1	3.3	2.8
L-11	San Javier-Colbun	PO	1260	3440	4.8	4.6	3.4	3.2
J-55	Poniente-Romeral	OP	4120	8660	10.1	8.9	3.2	3.8
J-55	Poniente-Romeral	PO	8660	4120	11.2	11.9	3.2	3.1
Ruta 115 CH	km 100	OP	3740	3730	0.7	0.0	1.0	0.0
Ruta 115 CH	km 100	PO	3730	3740	0.8	0.0	1.0	0.0
Ruta 5	Curico-Talca	NS	1500	1520	32.3	36.5	8.7	12.6
Ruta 5	Curico-Talca	SN	1520	1500	27.2	31.3	15.7	19.5
J-60	Licanten Iloca	OP	4420	4430	3.4	3.9	3.3	3.5
J-60	Licanten Iloca	PO	4430	4420	3.8	3.2	4.3	4.3
H-900-I	Peraillo-Las cabras	OP	10545	10540	1.1	1.1	1.0	1.4
H-900-I	Peraillo-Las cabras	PO	10540	10545	1.3	3.0	1.0	1.8
I-520	Pichilemu-Cahuil	OP	5910	5880	1.4	0.0	0.8	0.0
I-520	Pichilemu-Cahuil	PO	5880	5910	1.9	0.0	1.5	0.0
I-880	Chimbarongo	OP	5070	5080	0.3	0.0	0.7	0.0
I-880	Chimbarongo	PO	5080	5070	0.4	0.0	0.3	0.0
J-80	J-810	NS	5360	4400	0.8	0.0	0.7	0.0
J-80	J-810	SN	4400	5360	0.8	0.0	0.8	0.0
L-45	Sur De Llepo	OP	3600	3605	2.3	0.0	0.8	0.0
L-45	Sur De Llepo	PO	3605	3600	1.3	0.0	0.4	0.0
M-40	Sector Puico	NS	11175	11180	0.3	0.0	0.3	0.0
M-40	Sector Puico	SN	11180	11175	0.5	0.0	0.3	0.0
J-810	Sector Vichuquen	NS	5380	8720	0.3	0.3	0.5	0.5
J-810	Sector Vichuquen	SN	8720	5380	0.7	0.8	0.2	0.3
I-50	Pichilemu-Alcones	OP	5800	5815	5.6	5.9	3.3	3.0
I-50	Pichilemu-Alcones	PO	5815	5800	4.3	4.1	3.1	2.4

Fuente: Elaboración propia

## Tabla N° -10 Flujos Asignados / Observados (Veh/Hora) Puntos de Consolidación, Camiones Pesados

Ruta	Sector	Sentido	Nodo	Nodo	Período Laboral		Período Festivo	
			Inicio	Final	Observado	Modelado	Observado	Modelado
Ruta 128	Parral Cauquenes	OP	3120	3140	7.4	6.3	5.5	4.2
Ruta 128	Parral Cauquenes	PO	3140	3120	7.4	4.3	6.5	3.6
L-30-M	San Javier-Constitución	PO	3080	3060	11.5	9.8	7.1	6.4
L-30-M	San Javier-Constitución	OP	3060	3080	11.0	12.1	5.5	6.6

Ruta 126	Cauquenes Limite Regional	NS	3060	3040	1.0	2.8	1.0	1.3
Ruta 126	Cauquenes Limite Regional	SN	3040	3060	1.0	3.1	1.0	1.7
K-60	Talca - Penciahue	OP	4900	4880	2.2	2.6	1.0	0.0
K-60	Talca - Penciahue	PO	4880	4900	2.5	2.6	0.2	0.2
K-16	Sagrada Familia-Villa prat	OP	4520	4540	0.1	0.0	0.1	0.2
K-16	Sagrada Familia-Villa prat	PO	4540	4520	2.8	0.4	0.1	0.0
J-60	Curico-Rauco	OP	4300	4310	3.9	3.4	2.7	1.9
J-60	Curico-Rauco	PO	4310	4300	4.5	3.7	1.9	2.0
Ruta 115 CH	Corralones	PO	3700	3720	1.6	0.0	0.3	0.0
Ruta 115 CH	Corralones	SN	3720	3700	1.5	0.0	0.3	0.0
Ruta 128	Cauquenes-Constitución	NS	3280	3220	5.0	4.0	2.9	3.2
Ruta 128	Cauquenes-Constitución	SN	3220	3280	6.2	4.8	6.3	4.2
M-80-N	Pullehue-Límite Regional	OP	3200	3220	1.8	6.3	4.3	5.2
M-80-N	Pullehue-Límite Regional	PO	3220	3200	2.1	5.6	2.3	4.5
I-50	San Fernando-Santa Cruz	OP	10960	10980	13.3	11.8	6.6	6.3
I-50	San Fernando-Santa Cruz	PO	10980	10960	13.9	11.9	6.2	6.1
Ruta 66	Poniente R5	OP	6700	6720	13.2	20.8	2.7	7.7
Ruta 66	Poniente R5	PO	6720	6700	12.8	24.0	3.5	10.7
I-50	Peraillo-Marchihue	OP	5740	5760	4.8	4.0	0.8	1.1
I-50	Peraillo-Marchihue	PO	5760	5740	5.0	3.7	1.0	1.4
I-80-G	Sur Lituèche	NS	6430	6440	1.7	1.9	1.0	1.0
I-80-G	Sur Lituèche	SN	6440	6430	2.2	1.7	1.5	1.1
Ruta 5	Linares-Parral	NS	1080	1060	57.8	72.3	31.5	30.3
Ruta 5	Linares-Parral	SN	1060	1080	58.4	68.7	38.1	37.4
Ruta 5	Peaje Angostura	NS	30016	2640	133.5	109.3	41.5	39.9
Ruta 5	Peaje Angostura	SN	2640	30016	104.7	93.3	34.8	39.5
Ruta 126	Sur Cauquenes	NS	3180	21536	4.1	3.5	1.0	1.5
Ruta 126	Sur Cauquenes	SN	21536	3180	6.0	5.1	1.0	1.2
Ruta 66	Lago Rapel	OP	6920	6925	29.3	29.2	19.4	16.3
Ruta 66	Lago Rapel	PO	6925	6920	26.8	25.4	19.8	18.2
Ruta 5	San Fernando-Curico	NS	1780	1760	83.1	80.5	53.2	40.7
Ruta 5	San Fernando-Curico	SN	1760	1780	76.0	76.2	55.3	35.9
I-72	Santa Cruz-Lolol	NS	5200	5220	2.3	3.1	0.3	0.3
I-72	Santa Cruz-Lolol	SN	5220	5200	2.2	2.3	0.5	0.3
L-11	San Javier-Colbún	OP	3440	1260	7.1	5.5	5.9	4.8
L-11	San Javier-Colbun	PO	1260	3440	6.9	6.2	5.6	4.8
J-55	Poniente-Romerl	OP	4120	8660	2.8	2.5	0.3	2.6
J-55	Poniente-Romerl	PO	8660	4120	2.3	2.0	0.5	1.0
Ruta 115 CH	km 100	OP	3740	3730	0.1	0.0	1.0	0.0
Ruta 115 CH	km 100	PO	3730	3740	0.3	0.0	1.0	0.0
Ruta 5	Curico-Talca	NS	1500	1520	69.3	71.6	24.7	36.7
Ruta 5	Curico-Talca	SN	1520	1500	61.3	61.5	25.2	36.4
J-60	Licanten Iloca	OP	4420	4430	6.4	7.1	2.8	3.2
J-60	Licanten Iloca	PO	4430	4420	7.4	7.7	3.0	3.5
H-900-I	Peraillo-Las cabras	OP	10545	10540	1.3	1.6	1.0	2.0
H-900-I	Peraillo-Las cabras	PO	10540	10545	1.3	1.4	1.0	1.9
I-520	Pichilemu-Cahuil	OP	5910	5880	0.4	0.0	0.3	0.0
I-520	Pichilemu-Cahuil	PO	5880	5910	0.5	0.0	0.4	0.0
I-880	Chimbarongo	OP	5070	5080	0.1	0.0	0.1	0.0
I-880	Chimbarongo	PO	5080	5070	0.5	0.0	1.0	0.0
J-80	J 81	NS	5360	4400	1.0	0.0	1.0	0.0
J-80	J 81	SN	4400	5360	0.1	0.0	0.1	0.0
L-45	Sur De Llepo	OP	3600	3605	0.2	0.0	0.1	0.0
L-45	Sur De Llepo	PO	3605	3600	0.1	0.0	0.1	0.0
M-40	Sector Puico	NS	11175	11180	0.2	0.0	1.0	0.0
M-40	Sector Puico	SN	11180	11175	0.1	0.0	1.0	0.0
J-810	Sector Vichuquen	NS	5380	8720	0.3	0.6	0.5	0.6
J-810	Sector Vichuquen	SN	8720	5380	0.3	0.3	0.4	0.5
I-50	Pichilemu-Alcones	OP	5800	5815	2.9	4.0	3.4	3.0
I-50	Pichilemu-Alcones	PO	5815	5800	2.5	3.0	2.6	3.3

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° -11**  
**Flujos Asignados / Observados (Veh/Hora) Puntos de Consolidación, Vehículos Livianos**

Ruta	Sector	Sentido	Nodo	Nodo	Período Laboral		Período Festivo	
			Inicio	Final	Observado	Modelado	Observado	Modelado
Ruta 128	Parral Cauquenes	OP	3120	3140	45.3	33.1	48.3	32.4
Ruta 128	Parral Cauquenes	PO	3140	3120	42.4	36.5	52.2	35.3
L-30-M	San Javier-Constitución	PO	3080	3060	30.6	32.1	27.3	31.8
L-30-M	San Javier-Constitución	OP	3060	3080	32.5	37.2	28.9	34.7
Ruta 126	Cauquenes Limite Regional	NS	3060	3040	1.6	5.0	2.2	6.1
Ruta 126	Cauquenes Limite Regional	SN	3040	3060	1.0	15.4	0.5	13.8
K-60	Talca - Penciahue	OP	4900	4880	66.2	65.8	60.3	57.3
K-60	Talca - Penciahue	PO	4880	4900	68.0	66.9	49.7	49.1
K-16	Sagrada Familia-Villa prat	OP	4520	4540	22.6	22.1	20.2	20.0

K-16	Sagrada Familia-Villa prat	PO	4540	4520	40.8	40.1	19.9	19.7
J-60	Curico-Rauco	OP	4300	4310	60.3	56.8	50.3	51.7
J-60	Curico-Rauco	PO	4310	4300	60.7	59.7	44.6	44.5
Ruta 115 CH	Corralones	PO	3700	3720	39.4	38.7	35.5	34.0
Ruta 115 CH	Corralones	SN	3720	3700	37.3	36.8	40.8	39.1
Ruta 128	Cauquenes-Constitución	NS	3280	3220	34.9	27.3	34.6	35.2
Ruta 128	Cauquenes-Constitución	SN	3220	3280	34.1	25.1	33.0	43.7
M-80-N	Al Sur de Curanipe	OP	3200	3220	8.5	13.9	15.2	14.8
M-80-N	Al Sur de Curanipe	PO	3220	3200	16.5	24.4	14.8	15.4
I-50	San Fernando-Santa Cruz	OP	10960	10980	148.1	130.8	149.5	133.2
I-50	San Fernando-Santa Cruz	PO	10980	10960	155.6	145.9	150.3	129.2
Ruta 66	Poniente R5	OP	6700	6720	58.5	48.6	55.4	44.7
Ruta 66	Poniente R5	PO	6720	6700	65.9	71.3	68.7	72.8
I-50	Peraillo-Marchihue	OP	5740	5760	18.7	21.6	4.5	7.5
I-50	Peraillo-Marchihue	PO	5760	5740	17.6	22.8	4.3	7.5
I-80-G	Sur Lituèche	NS	6430	6440	14.6	15.0	12.3	13.2
I-80-G	Sur Lituèche	SN	6440	6430	16.2	13.4	20.7	14.1
Ruta 5	Linares-Parral	NS	1080	1060	143.2	156.6	136.6	135.0
Ruta 5	Linares-Parral	SN	1060	1080	127.3	138.3	126.8	135.9
Ruta 5	Peaje Angostura	NS	30016	2640	277.5	285.8	163.0	194.3
Ruta 5	Peaje Angostura	SN	2640	30016	388.5	340.2	316.0	308.8
Ruta 126	Sur Cauquenes	NS	3180	21536	6.4	5.6	9.5	8.8
Ruta 126	Sur Cauquenes	SN	21536	3180	8.3	9.5	6.3	6.5
Ruta 66	Lago Rapel	OP	6920	6925	46.5	52.4	46.8	44.2
Ruta 66	Lago Rapel	PO	6925	6920	49.9	50.9	53.4	48.8
Ruta 5	San Fernando-Curico	NS	1780	1760	246.7	236.6	299.8	203.9
Ruta 5	San Fernando-Curico	SN	1760	1780	192.6	203.7	274.0	203.2
I-72	Santa Cruz-Lolol	NS	5200	5220	40.4	46.5	42.6	46.2
I-72	Santa Cruz-Lolol	SN	5220	5200	35.5	38.2	29.8	31.7
L-11	San Javier-Colbún	OP	3440	1260	57.3	56.6	46.3	44.9
L-11	San Javier-Colbun	PO	1260	3440	55.7	53.9	47.5	45.6
J-55	Poniente-Romeral	OP	4120	8660	99.8	99.1	76.7	78.4
J-55	Poniente-Romeral	PO	8660	4120	103.0	99.2	79.1	77.2
Ruta 115 CH	km 100	OP	3740	3730	6.9	0.0	1.0	0.0
Ruta 115 CH	km 100	PO	3730	3740	5.5	0.0	1.0	0.0
Ruta 5	Curico-Talca	NS	1500	1520	190.2	188.8	118.3	138.0
Ruta 5	Curico-Talca	SN	1520	1500	147.2	146.8	137.5	149.2
J-60	Licanten Iloca	OP	4420	4430	33.7	3.7	24.6	24.5
J-60	Licanten Iloca	PO	4430	4420	36.9	3.6	20.2	19.1
H-900-I	Peraillo-Las cabras	OP	10545	10540	6.0	7.0	1.0	3.0
H-900-I	Peraillo-Las cabras	PO	10540	10545	8.4	13.5	1.0	4.8
I-520	Pichilemu-Cahuil	OP	5910	5880	11.8	12.2	13.6	13.6
I-520	Pichilemu-Cahuil	PO	5880	5910	10.7	10.7	14.3	13.3
I-880	Chimbarongo	OP	5070	5080	8.8	9.9	5.4	5.5
I-880	Chimbarongo	PO	5080	5070	8.3	8.7	6.2	6.2
J-80	J 81	NS	5360	4400	3.8	3.0	3.8	3.7
J-80	J 81	SN	4400	5360	3.1	3.2	3.1	3.2
L-45	Sur De Llepo	OP	3600	3605	9.3	9.3	13.1	0.0
L-45	Sur De Llepo	PO	3605	3600	7.7	7.7	8.5	0.0
M-40	Sector Puico	NS	11175	11180	2.6	1.5	1.7	0.9
M-40	Sector Puico	SN	11180	11175	2.1	1.2	1.6	1.1
J-810	Sector Vichuquen	NS	5380	8720	7.8	8.2	4.4	5.5
J-810	Sector Vichuquen	SN	8720	5380	6.9	6.8	4.2	4.4
I-50	Pichilemu-Alcones	OP	5800	5815	22.3	25.3	25.9	21.9
I-50	Pichilemu-Alcones	PO	5815	5800	16.5	21.4	17.5	20.9

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° -12**  
**Indicadores de Ajuste Flujos Observados / Modelados Matrices Consolidadas**

Modo	Período	R <sup>2</sup>	A	Pendiente
Vehículos Livianos	Laboral	0,98	-0,05	1,03
	Festivo	0,95	-1,70	1,09
Camiones Simples	Laboral	0,98	0,16	1,03
	Festivo	0,94	-0,07	1,08
Camiones Pesados	Laboral	0,97	-0,43	1,04
	Festivo	0,91	-0,07	1,02

Fuente: Elaboración propia

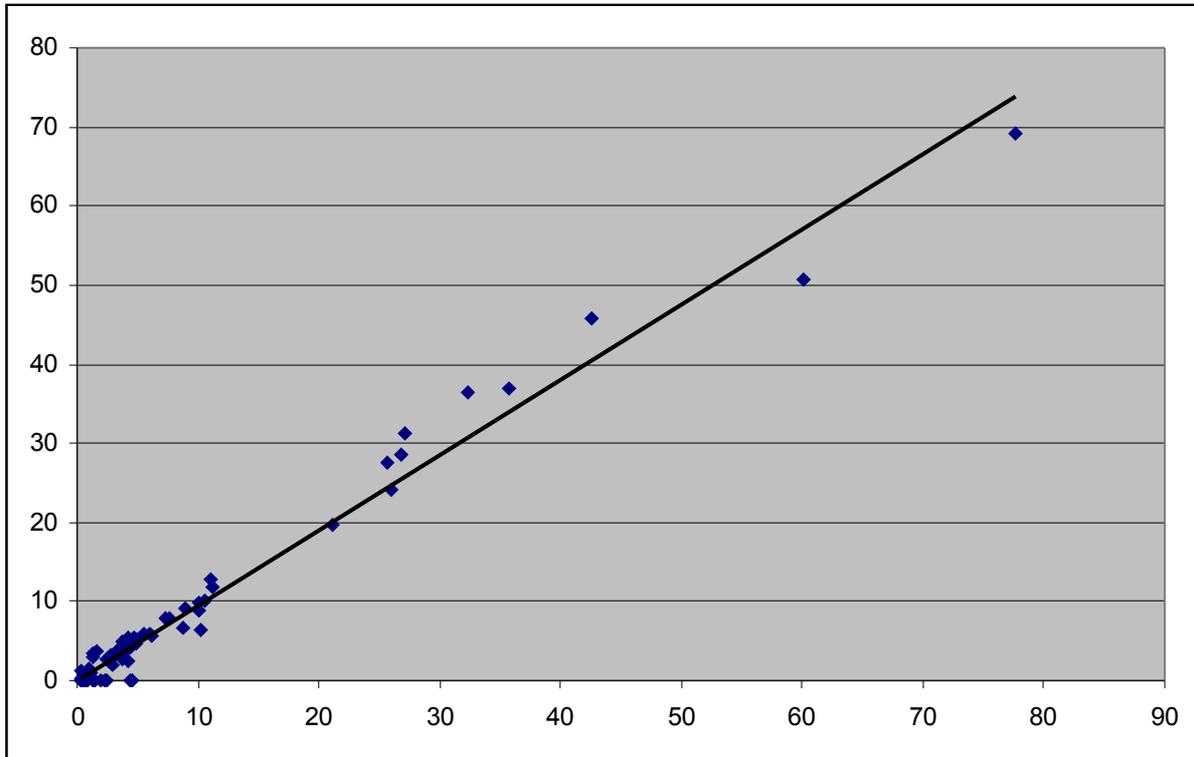
Donde:  $F_{\text{observado}} = A + B * F_{\text{modelado}}$

En un buen ajuste, el valor del índice de ajuste  $R^2$  debe ser cercano a 1.0, al igual que la pendiente  $B$ , mientras que el intercepto  $A$  debe ser cercano a cero.

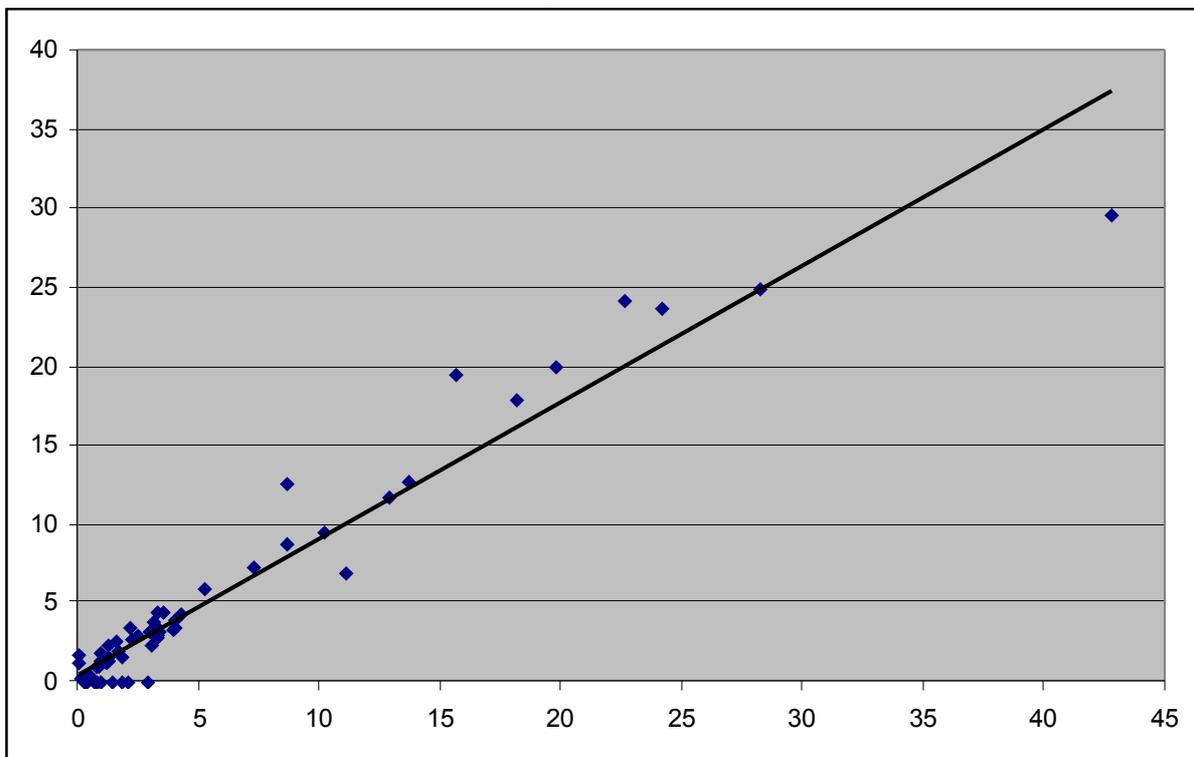
Como se observa en las tablas anteriores, los valores de correlación son bastante aceptables, ya que el menor índice  $r^2$  es de 0,91. Particularmente bueno es el resultado del modo vehículos livianos, con valores de  $r^2$  de 0,98 en día laboral. Se aprecia que los resultados obtenidos en período laboral son mucho mejores que los obtenidos en el período fin de semana

En la Figura N° -14 a Figura N° -19 se presenta en forma gráfica el grado de ajuste alcanzado.

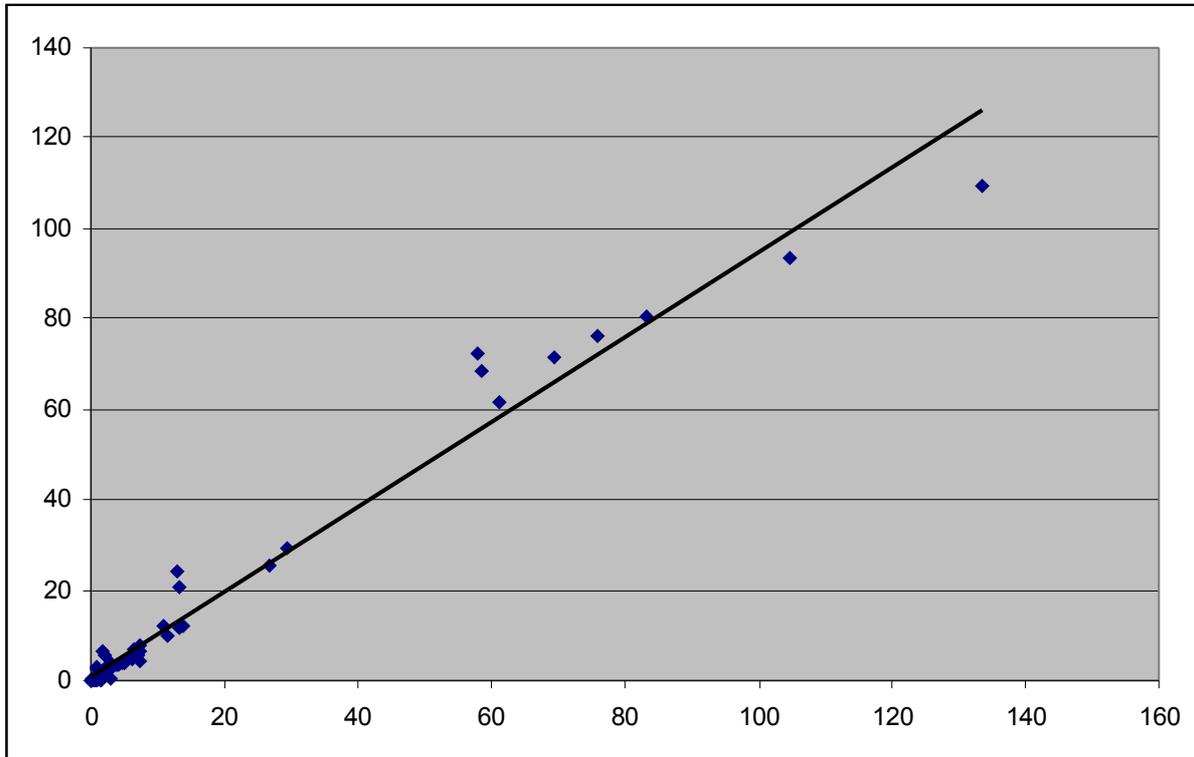
**Figura N° -14**  
**Ajuste Flujos Observados / Modelados**  
**Camiones Simples – Período Laboral**



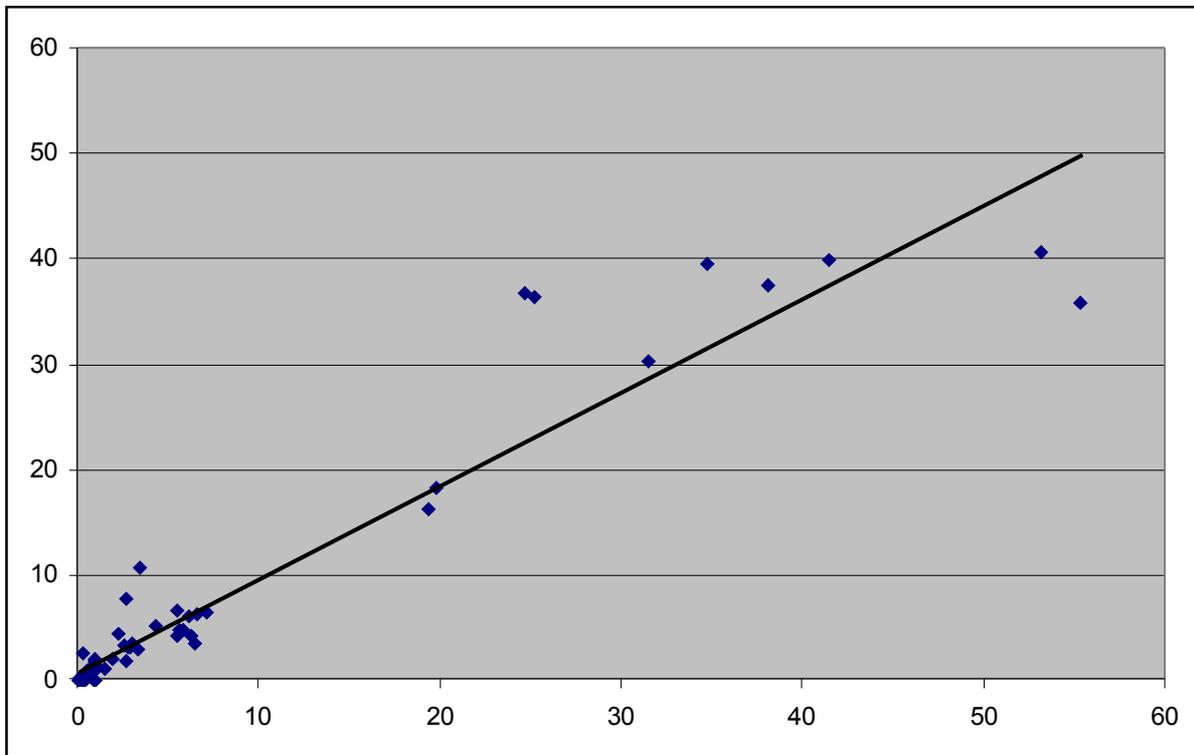
**Figura N° -15**  
**Ajuste Flujos Observados / Modelados**  
**Camiones Simples – Período Festivo**



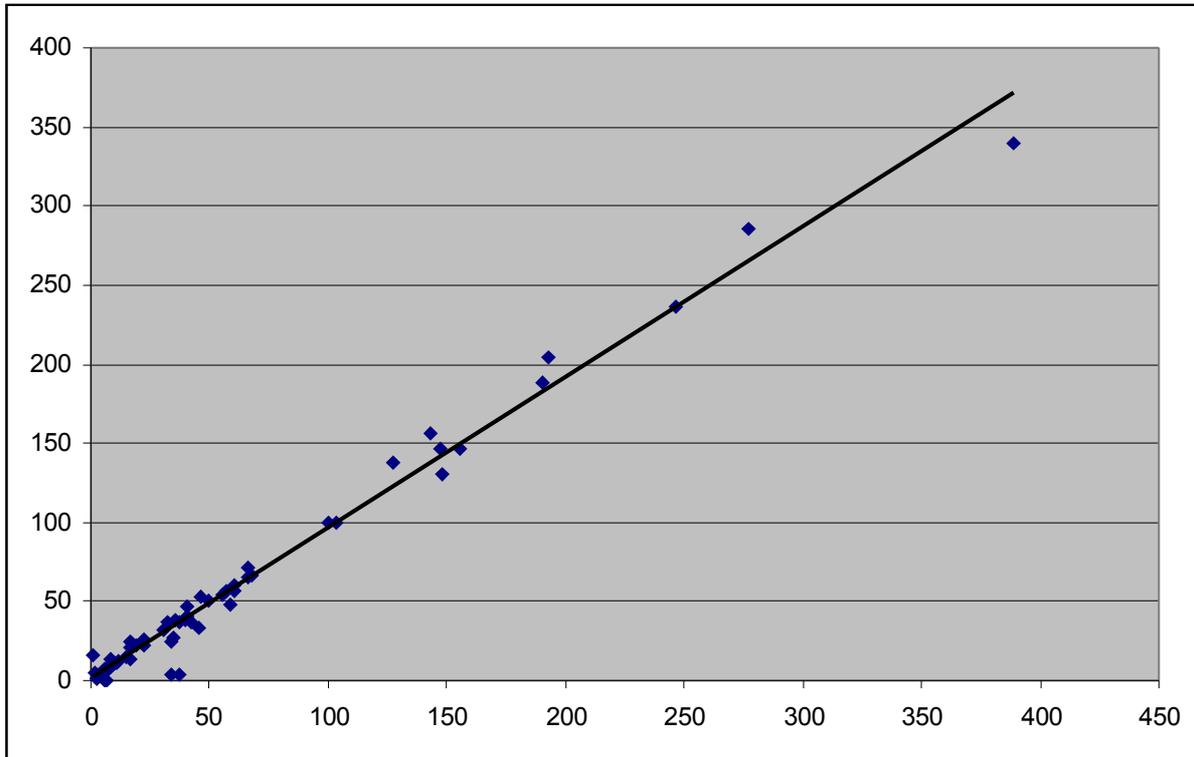
**Figura N° -16**  
**Ajuste Flujos Observados / Modelados**  
**Camiones Pesados – Período Laboral**



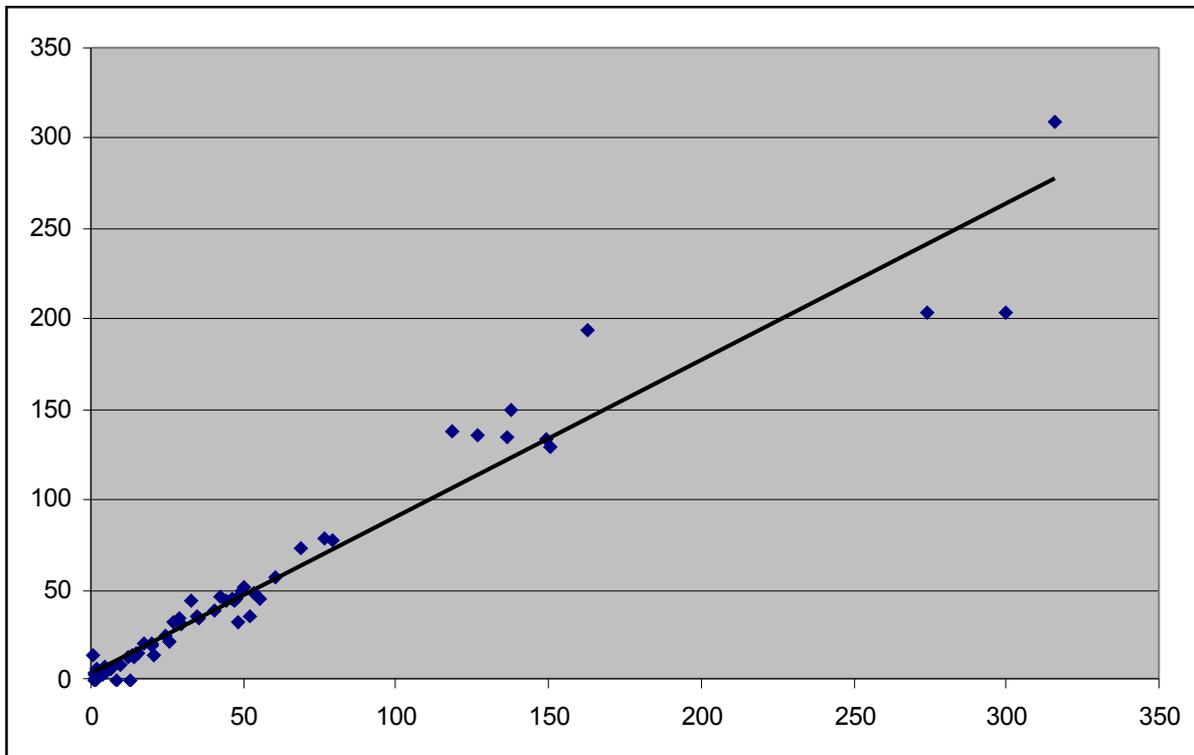
**Figura N° -17**  
**Ajuste Flujos Observados / Modelados**  
**Camiones Pesados – Período Festivo**



**Figura N° -18**  
**Ajuste Flujos Observados / Modelados**  
**Vehículos Livianos – Período Laboral**



**Figura N° -19**  
**Ajuste Flujos Observados / Modelados**  
**Vehículos Livianos – Período Festivo**



Otro indicador para verificar la calidad del procedimiento de consolidación lo constituye el porcentaje de encuestas procesadas en la consolidación. Este valor muestra la capacidad del modelo de asignación para representar las elecciones de ruta de los usuarios encuestados, y por lo tanto es esperable que sea lo más cercano al 100% en cada caso. En este proceso se descartan, entre otros casos, aquellos viajes cuya probabilidad de haber sido encuestado es inferior al 10%, lo que evita expandir en forma indiscriminada estos viajes y sesgar la matriz.

Por otro lado, un porcentaje alto de encuestas leídas indica que las matrices O/D han sido modeladas utilizando una importante cantidad de datos de la muestra O/D, con lo cual mejora la representatividad del modelo obtenido con respecto a lo observado. En la Tabla N° -13 se indican los valores obtenidos en el presente estudio.

**Tabla N° -13**  
**Porcentaje de Encuestas Procesadas en la Consolidación**

Período	Vehículos Livianos	Camiones Simples	Camiones Pesados
Día Laboral	91,3%	87,1%	90,1%
Día Fin Semana	91,2%	86,9%	88,9%

Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que el porcentaje de encuestas procesadas es siempre superior al 87%, siendo los mejores valores los observados para el modo vehículos livianos, cercanos al 90%. Como normalmente sucede en este tipo de modelos, los indicadores más bajos de encuestas procesadas corresponden al modo camiones simples. Esto ocurre porque en la etapa de levantamiento de encuestas, en algunos casos los conductores de camiones simples tienen dificultad para responder acertadamente el origen/destino del viaje que está realizando, cuando se trata de una cadena de viajes.

### **7.1.12 Ajuste de Matrices**

Las matrices consolidadas anteriormente representan los viajes agregados capturados a través de la información de encuestas origen-destino. Sin embargo, esta información no es completa debido a que la cobertura de la encuesta no es suficiente para asegurar la captura de todos los posibles viajes a nivel de pares origen-destino que circulan en el sistema. Esto produce que, al asignar la matriz consolidada, los flujos que se obtienen reflejan de buena forma los volúmenes vehiculares de expansión medidos en los puntos de encuesta, pero no necesariamente reproduce los flujos presentes en el resto de la red. Para subsanar esta situación, una posibilidad es realizar un ajuste de la matriz consolidada, de manera que esta sea capaz de replicar los flujos observados en otros puntos de la red que no coinciden con los flujos de expansión. Estos nuevos puntos de denominan “puntos de control”.

En el presente caso, los puntos de control corresponden a los flujos medidos en 16 puntos como parte de los estudios de base.

Para ajustar las matrices de viaje se ha recurrido a la expresión de Willumsen, generalizada para el caso de múltiples categorías. Esta indica que la matriz ajustada  $T_{ij}$  correspondiente a cierto tipo de vehículo y período y categoría ( $u$ ) se estima de la siguiente manera:

$$T_{ij}^u = t_{ij}^u \prod_a X_a^{p_{ij}^a}$$

$$X_a = \frac{V_a}{\sum_u \sum_{ij} T_{ij}^u P_{ij}^{au}}$$

Donde  $t_{ij}^u$  corresponde a la matriz consolidada en el paso anterior  $X_a$  son factores de corrección asociados al conteo  $a$ , que deben ser aplicados a la matriz de viajes  $\{t_{ij}^u\}$ . Las matrices  $p_{ij}^{au}$  representan la proporción de viajeros que utilizan el arco  $a$ , al viajar entre las zonas  $i$  y  $j$ .

La proporción  $p_{ij}^{au}$ , se estima a partir del modelo de asignación estocástico implementado en EMME/2.

En resumen, el ajuste de matrices se resume en los siguientes pasos:

- Paso 1: Asignación de  $t_{ij}^u$  a la red. Cálculos de la matriz  $P_{ija}$  en cada arco de conteo para cada tipo de usuario.
- Paso 2: Estimación de  $T_{ij}^u$  para cada tipo de usuario en forma simultánea
- Paso 3: Hacer  $t_{ij}^u = T_{ij}^u$  y asignar  $t_{ij}^u$  a la red. Cálculo de la matriz  $P_{ija}$  en cada arco de conteo para cada tipo de usuario.
- Paso 4: Convergencia? No  $\Rightarrow$  Paso 2, Si  $\Rightarrow$  Parar

El método se ha aplicado con una alternativa de “congelamiento de celdas”. Vale decir, se han definido matrices de incidencia que indican cuales de las celdas de la matriz inicial pueden ser modificadas, y cuales no. Esto último es particularmente útil para el caso actual, en donde se posee mayor confianza en un conjunto de datos (matriz consolidada), y se requiere ajustar un subconjunto de celdas correspondientes a aquellas no controladas por las encuestas origen-destino.

La matriz de partida del método corresponde a una matriz unitaria, para todos aquellos pares origen destino con  $p_{ij}^a=0$  para cualquier punto de consolidación.

En la Tabla N° -14 y Tabla N° -15 se presentan los flujos observados en comparación con los flujos modelados en los puntos en que se realizó el ajuste.

**Tabla N° -14**  
**Flujo Observado Versus Modelado, después del Ajuste**

Conteo	Vehículos Livianos	Camiones Simples	Camiones Pesados
--------	--------------------	------------------	------------------

Ruta	Ubicación	Sentido	Laboral		Fin de Semana		Laboral		Fin de Semana		Laboral		Fin de Semana	
			Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs
K -25	Sur de Cumpeo	SN	6.3	6.3	6.5	6.5	1.3	1.2	0.7	0.6	0.8	0.8	0.3	0.0
		NS	6.8	6.8	7.1	7.1	1.6	1.6	0.6	0.5	0.1	0.0	0.2	0.0
H-76	Marchigue	SN	10.5	10.4	11.2	11.2	2.0	1.9	1.9	0.5	1.8	1.7	0.7	0.1
		NS	9.9	9.9	11.3	11.3	2.5	2.3	1.9	0.1	1.6	1.5	0.6	0.1
L-25	Yerbas Buenas	NS	74.5	78.0	65.6	84.3	3.6	11.1	2.7	15.7	1.2	2.3	0.8	1.4
		SN	68.3	70.3	67.7	69.8	2.4	7.5	1.0	12.1	0.3	1.4	0.3	3.0
I-30-J	Sur de Chepica	PO	49.8	49.7	45.3	45.3	7.7	7.4	5.4	5.2	7.1	6.8	5.7	5.4
		OP	50.8	50.7	37.6	37.6	4.4	4.5	4.5	4.5	5.6	5.8	4.8	4.6
K-40	San Rafael	SN	0.9	0.8	3.1	3.1	0.1	0.1	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
		NS	3.3	3.3	2.7	2.7	0.1	0.3	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
L-16	Cruce con L-202	OP	55.4	55.7	49.6	49.8	3.3	3.3	2.3	2.3	0.7	0.7	0.8	0.8
		PO	53.1	53.1	42.7	42.7	2.8	2.8	2.1	2.1	0.5	0.3	0.5	0.5
L-19	Cruce con L-25	OP	47.6	6.9	42.6	7.6	1.0	1.0	1.6	1.5	0.6	0.4	0.4	0.0
		PO	34.7	3.0	34.9	5.1	0.0	0.6	0.0	0.9	0.0	0.2	0.0	0.0
K415	Al Sur del Cruce con K 405	NS	4.8	4.8	3.8	3.8	0.5	0.6	0.2	0.2	0.1	0.3	0.0	0.0
K405	Al Poniente del Cruce con K 415	OP	4.2	4.2	3.7	3.7	0.7	0.7	0.2	0.2	0.1	0.1	0.0	0.0
	Al Oriente del Cruce con K 415	PO	2.0	2.0	2.6	2.6	0.0	0.3	0.0	0.3	0.0	0.1	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N° -15 se indican los valores de ajuste para algunos puntos relevantes de la red, que no tuvieron una respuesta adecuada en la fase de consolidación

**Tabla N° -15**  
**Flujo Observado Versus Modelado, después del Ajuste,**  
**Ruta Relevantes**

Ruta	Tramo	Sentido	Vehículos Livianos				Camiones Simples				Camiones Pesados			
			Laboral		Fin de Semana		Laboral		Fin de Semana		Laboral		Fin de Semana	
			Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs	Mod	Obs
66	Peumo - San Vicente	OP	120.1	119.1	120.4	120.5	26.0	24.8	21.4	23.9	7.4	7.1	8.4	7.8
66	Peumo - San Vicente	PO	119.6	119.1	120.5	120.5	26.0	24.8	21.4	23.9	7.4	7.1	8.5	7.8
66	Al Norte de Alhué	NS	69,4	70,1	87,4	87,7	9,8	9,6	4,2	5,0	21,0	22,4	8,4	9,6
66	Al Norte de Alhué	SN	63,5	70,1	88,3	87,7	9,3	9,6	3,7	5,0	21,7	22,4	8,3	9,6
I-50	Poniente de San Fernando	PO	148.7	148.2	149.9	149.6	25.9	26.0	12.8	12.9	13.2	13.3	6.6	6.6
		OP	156.0	155.6	150.2	150.3	21.4	21.1	13.5	13.7	14.1	13.9	6.2	6.2
M-30-I	Constitución - Villa Alegre	OP	30.6	30.6	27.3	27.3	7.7	7.7	5.3	5.3	11.5	11.5	7.2	7.1
M-30-I	Constitución - Villa Alegre	PO	32.7	32.7	29.1	29.1	7.2	7.3	3.6	3.6	11.0	11.0	5.6	5.5
H-76	Angostura - San Vicente	SN	78.2	80.3	61.9	61.9	13.0	11.7	6.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
H-76	Angostura - San Vicente	NS	77.1	80.7	67.7	70.8	10.4	9.5	5.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Elaboración propia

A continuación se presentan los indicadores del modelo ajustado. Se debe mencionar que dichos indicadores han sido calculados sin considerar los flujos nulos.

**Tabla N° -16**  
**Indicadores de Ajuste Flujos Observados / Modelados, Matrices Ajustadas**

Modo	Período	R <sup>2</sup>	A	Pendiente
------	---------	----------------	---	-----------

Vehículos Livianos	Laboral	0.99	-0.80	0.99
	Festivo	0.99	0.19	0.99
Camiones Simples	Laboral	0.99	-0.19	1.01
	Festivo	0.99	-0.11	0.95
Camiones Pesados	Laboral	0.99	-0.01	0.98
	Festivo	0.99	1.05	0.01

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Figura N° -20 se presentan los TMDA, sobre la red de modelación

**Figura N° -20**  
**TMDA 2005 Red de Modelación**

## 7.6 MODELACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO

El transporte público es un servicio de gran relevancia para los usuarios de la red estratégica bajo análisis, y por lo tanto se ha decidido incorporarlo en el modelo de transporte y en la fase de evaluación social de proyectos

El modo a incorporar en la red de transporte público a modelar corresponde al bus interurbano, vale decir aquellos servicios que circulan entre ciudades, localidades, y que utilizan parte de la red incorporada al análisis. Naturalmente que la información de partida para la modelación corresponde a los datos levantados en los catastros de transporte público.

El modelo operacional se ha implementado para representar la circulación de las líneas de servicios en la Macrozona Centro Sur, de tipo suburbano e interurbano. Dado que los buses ofrecen servicio con un recorrido y una frecuencia preestablecidos, es que se ha decidido modelar la operación de este modo en el formato de *rutas fijas* a través de la red. De esta manera los buses no están afectos a decisiones de asignación de ruta, tanto en la situación actual como en las proyecciones futuras del flujo vehicular.

Las posibles variaciones del flujo de buses en los cortes temporales de fijo, tanto en cobertura como en volumen vehicular, serán tratados mediante la proyección de la variación de la frecuencia de los servicios.

### 7.6.1 Codificación Líneas

Con la información del Catastro de Transporte Público realizado en diferentes terminales dentro de la zona de estudio, es posible conocer las características de los servicios de buses suburbanos que circulan en la Macrozona Centro Sur. Para fines de modelación los principales datos a extraer del Catastro son el recorrido y la frecuencia de salidas de cada servicio. Esta información ha sido incorporada en EMME/2 con un formato que se detalla a continuación, y que es la base para modelar los flujos de buses.

Tomando en cuenta que los buses en la mayoría de los casos operan con un recorrido y una frecuencia establecidos, es que se ha decidido representar el flujo vehicular asociado a este modo como rutas fijas a través de la red. De esta manera los buses no están afectos a decisiones de asignación de ruta, tanto en la situación actual como en las proyecciones futuras del flujo vehicular.

El proceso calibración en este tipo de vehículo, consiste en ajustar las frecuencias de servicios obtenidas en el catastro de transporte público, de forma tal de reproducir los flujos observados en carretera.

Para estos efectos, la frecuencia media horaria, puede ser estimada a partir de conteos de flujos horarios, realizados en diversos puntos de la red mediante estimadores de máxima verosimilitud, aplicando el siguiente procedimiento.

Sean

- $\lambda_i$  el mejor estimador de frecuencia de la línea  $i$  (por determinar).
- $Q_k$  el flujo total de transporte público medido en el punto de control  $k$ .
- $\lambda_{ik}$  la frecuencia medida de la línea  $i$  en el punto de control  $k$ .
- $\delta_{ik}$  una variable muda que toma el valor 1 si la línea  $i$  pasa por el punto  $k$  y toma el valor 0 en otro caso.

Entonces, por condiciones de continuidad debieran cumplirse la siguiente ecuación:

$$Q_k = \sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}$$

Sin embargo, como es sabido, por diversos factores estas condiciones de continuidad no se satisfacen plenamente en la totalidad de los puntos de control, generándose errores que, para efectos del procedimiento que se describe, se suponen aleatorios. De esta manera, si se asume una distribución de los errores del tipo Poisson, como es común en teoría de flujos vehiculares, las condiciones anteriores pueden ser traducidas en los siguientes términos probabilísticos:

$$P(Q_k = \sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}) = \frac{e^{-\sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}} \cdot (\sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik})^{Q_k}}{Q_k!}$$

De esta manera, a partir de la ecuación anterior, es posible determinar los estimadores de máxima verosimilitud  $\lambda_i$ , que se derivan de maximizar la función log-verosimilitud, obteniéndose la siguiente expresión, válida  $\forall i$ :

$$\sum_k (\delta_{ik} - \frac{Q_k \cdot \delta_{ik}}{\sum_i \lambda_i \cdot \delta_{ik}}) = 0$$

## 7.6.2 Resultados

El procedimiento descrito fue aplicado para el presente caso obteniendo dos set de frecuencias ajustadas, representativos de los períodos *laboral* y *fin de semana* respectivamente. En el siguiente diagrama se esquematiza esta situación.

Posteriormente se aplicó la expresión del cálculo del flujo fijo, para obtener los flujos del modo bus en unidades de vehículo/día, en cada período y para cada arco de la red.

En la Tabla N° -17 se presenta una comparación de los flujos de buses observados y modelados, para cada uno de los períodos considerados en la modelación.

**Tabla N° -17  
Comparación Flujos de Buses Observados v/s Modelados**

Ruta	Tramo	N°	N_Ori	N_Des	Flujo Observado (veh/hr)		Flujo Modelado (veh/hr)	
					Lab	FDS	Lab	FDS
128	Parral Cauquenes	1	3120	3140	9	9	5	4
K-60	Talca – Péncahue	4	4900	4880	9	4	9	2
J-60	Curico-Rauco	6	4300	4310	29	27	45	49
115 CH	Corralones	7	3700	3720	8	7	0	0
M-50	Cauquenes-Constitución	8	3280	3220	3	4	5	4
M-50	Cauquenes-Constitución	9	3200	3220	4	4	5	4
I-50	San Fernando-Santa Cruz	10	10960	10980	34	36	35	41
66	Poniente Ruta 5	11	6700	6720	15	13	15	15
I-50	Peralillo-Marchihue	12	5740	5760	4	0	3	0
I-80-G	Sur Litueche	13	6430	6440	2	3	2	0
5	Linares-Parral	14	1080	1060	53	49	60	53
5	Peaje Angostura	15	30016	2640	108	87	109	102
126	Sur Cauquenes	16	3180	21536	2	2	2	0
66	Lago Rapel	17	6920	6925	7	9	7	8
5	Curicó-Teno	18	1720	1700	103	83	103	93
I-72	Santa Cruz-Lolol	19	5200	5220	53	35	45	49
L-11	San Javier-Colbun	20	3440	1260	9	8	10	7
J-55	Poniente-Romeral	21	4120	8660	26	27	26	29
115 CH	km 100	22	3740	3730	0	0	0	0
5	Talca-San Rafael	23	1440	1420	57	54	60	53
H-900-I	Peralillo-Las cabras	25	10545	10540	0	0	0	0
G-880	Navidad-La Boca	26	6010	6000	2	2	2	0
I-86	Chimbarongo	27	5070	5080	1	0	1	0
J-80	Hualañé-Llico	28	5360	4400	0	0	0	0
L-45	Sur de Llepo	29	3600	3605	1	1	1	0
K-25	Cumpeo-Pelarco	30	3860	3820	5	2	5	0
H-76	Los Maitenes-Marchihue	31	6260	10460	12	5	12	3
66	Peumo-Las Cabras	32	6780	6785	252	252	252	283
I-50	San Fernando-Santa Cruz	33	10960	10980	383	239	383	268
M-80-N	Curanipe-VIII Región	35	3240	21529	72	0	60	0
L-25	Linares-Yerbas Buenas	36	11280	3640	155	149	155	168
I-86	Chépica-Teno	37	5164	5160	155	146	155	164
K-40	San Rafael-Villa Prat	38	8600	11500	5	0	5	0
L-16	Villa Alegre-Estación Villa Alegre	39	3000	1170	99	65	99	72
L-635	Ruta 5-Duao	40	12000	1300	19	23	19	24
H-80-I	Angostura-Requegua	41	6120	10620	120	60	120	66

**Fuente:** Elaboración Propia

Se estimaron regresiones lineales entre los flujos observados y modelado, obteniéndose valores  $r^2=0.94$  para el período Laboral y  $r^2=0.90$  para el caso del período fin de semana.

<b>7 IMPLEMENTACIÓN Y CALIBRACION MODELO ASIGNACIÓN.....</b>	<b>1</b>
7.1 INTRODUCCIÓN.....	1
7.2 FUNCIONES FLUJO-VELOCIDAD.....	1
7.2.1 Calzada Simple.....	2
7.2.2 Doble Calzada.....	3
7.2.3 Validación.....	4
7.3 IMPLEMENTACIÓN RED DE MODELACIÓN .....	5

7.1.1 Definición Plataformas de Modelación .....	5
7.1.2 Modelación SIG.....	7
7.1.3 Modelo COPER.....	19
7.3.1 Parametrización EMME/2 Y Red Externa.....	21
7.1.4 Modelo EMME/2.....	22
7.4 DEFINICIÓN MODELO DE ASIGNACIÓN.....	24
7.1.5 Funciones de Costo y Criterio de Asignación.....	25
7.1.6 Asignación Estocástica .....	28
7.1.7 Consolidación de Matrices.....	31
7.1.8 Cálculo de Matrices de Proporciones "Pijas".....	33
7.5 APLICACIÓN: CALIBRACIÓN RED MACROZONA CENTRO SUR.....	34
7.1.9 Validación de la Red.....	34
7.1.10 Antecedentes de Tránsito.....	34
7.1.11 Consolidación de Matrices.....	34
7.1.12 Ajuste de Matrices.....	45
7.6 MODELACIÓN DE TRANSPORTE PÚBLICO.....	49
7.6.1 Codificación Líneas.....	50
7.6.2 Resultados.....	51